جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست‌وهفت، پاییز ۱۳۹۷

صص ۱۸۷- ۱۶۱

DOI: 10.22067/geo.v0i0.73549

بررسی بی‌هنجاری‌های میانگین دمای کمینه و بیشینه ایران در دوره گرم سال به‌منظور شناسایی دوره گرم و سرد

حسین‌علی روحبخش سیگارودی- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران

مصطفی کرمپور[1]- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران

هوشنگ قائمی- استاد هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

محمد مرادی- استادیار هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

مجید آزادی- دانشیار هواشناسی، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۲

چکیده

دما از مهم‌ترین فرا سنج‌های جوی است که ارزیابی تغییرات آن در مناطق مختلف، می‌تواند در آشکارسازی رخدادهای فرین اقلیمی و مدیریت ریسک بسیار مؤثر باشد. بنابراین هدف از این مقاله بررسی و تعیین بی‌هنجاری‌های دما در دوره گرم سال (اپریل-سپتامبر) در دو دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۰-۱۹۵۱، ۲۰۱۰-۱۹۸۱ و دو دوره ده‌ساله ۱۹۶۰-۱۹۵۱،۲۰۱۰-۲۰۰۱ و دوره ۶۰ ساله ۲۰۱۰-۱۹۵۱ است. داده‌های روزانه ۲۶ ایستگاه همدیدی با پایه آماری مشترک (۲۰۱۰-۱۹۵۱) از سازمان هواشناسی تهیه و پس از بررسی کیفی، آماره‌های موردنیاز برای بهار و تابستان در بازه‌های زمانی فوق تهیه شد. با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه‌های میانگین دمای کمینه و بیشینه، الگوی ضریب تغییرات و برآورد احتمال ۲۰٪ حد بالا و پایین آن‌ها تهیه و تفسیر شد. تأثیرگذاری الگوی فضایی_زمانی میانگین دمای بیشینه ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم بر الگوی متناظر آن در بازه ۶۰ ساله بیشتر بوده است؛ بنابراین در فرا سنج موردنظر و ضریب تغییرات مربوط به آن در دوره ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم، نسبت به دوره‌های ۳۰ ساله و ۱۰ ساله اول، تغییر نسبی ایجادشده است. میانگین دمای بیشینه و کمینه اغلب ایستگاه‌ها در بازه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) و (۲۰۱۰-۲۰۰۱) افزایش داشته است. نیمه غربی بیشترین کاهش میانگین دمای کمینه و بیشینه را تجربه کرده است که با نتایج تفاضل میانگین دمای کمینه و بیشینه دوره (۱۹۶۰-۱۹۵۱ و ۲۰۱۰-۲۰۰۱) تطابق دارد. افزایش میانگین دمای کمینه در شهرهای بزرگ و پرجمعیت سریع‌تر است که سبب کاهش دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما[2] می‌شود.

---

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۶۳۶۱۸۹۰۷

Email:karampoor.m@lu.ac.ir

2 Diurnal Temperature Range

احتمال ۲۰٪ بالا (پایین) میانگین دمای بیشینه (کمینه)، نشانه تواتر و گسترش دوره گرم و سرد بیشتر در بازه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) است. آزمون من-کندال نشان می‌دهد که میانگین دمای کمینه ۲۱ ایستگاه در بهار و ۲۲ ایستگاه در تابستان دارای روند معنی‌دار بوده است. به‌غیراز انزلی در تابستان، بقیه در هر دو فصل بهار و تابستان، روند افزایشی داشتند که می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق گسترش فصل رشد آفات و عوامل بیماری‌زا، وقوع خشک‌سالی‌های بهار و تابستان و فرسایش خاک حیات انسان و سایر جانداران را تهدید کند.

واژگان کلیدی: الگوهای فضایی-زمانی، دوره گرم، دوره سرد، مدیریت ریسک، اختلاف شبانه‌روزی دما

۱- مقدمه

دما از مهم‌ترین فرا سنج‌های جوی و اقلیمی است که تغییر آن منشأ بسیاری از تحولات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی است؛ بنابراین ارزیابی‌های منطقه‌ای تغییر این فرا سنج در مناطق مختلف اقلیمی برای درک وجود نوع روند آن ضروری است؛ زیرا نتایج آن می‌تواند در شناسایی رخدادهای اقلیمی فرین و ظهور مخاطرات طبیعی بسیار مؤثر باشد. از طرفی شناسایی تأثیر پدیده‌های اقلیمی فرین بر روی سامانه‌های محیطی بسیار مهم است. اهمیت مسئله ازیک‌طرف و عدم اطمینان از تغییراتی را که در آینده از آن حاصل می‌شود، ایجاب می‌کند که دانسته شود، چرا و چگونه شرایط اقلیمی نسبت به گذشته تغییر کرده است. به همین دلیل مطالعه رخدادهای اقلیمی به موضوعی ویژه تبدیل‌شده است. ازآنجایی‌که میانگین‌های دمای کمینه و بیشینه در چند دهه اخیر نسبت به گذشته تغییر افزایشی داشته است که می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق گسترش فصل رشد آفات و عوامل بیماری‌زا، افزایش رخداد خشک‌سالی‌های بهاره و فرسایش خاک و غیره، حیات انسان و سایر جانداران را تهدید کند، بنابراین شناخت و تحلیل دقیق تغییر در الگوهای فضایی- زمانی دما برای ایجاد راهبردهای مدیریت بوم‌سازگان[1] ضروری است. از طرفی موقعیت جغرافیایی کشور و وجود گستره وسیعی از اراضی کویری و خشک به همراه مناطق کوهستانی، بوم‌سازگان‌های طبیعی منطقه‌ای، کشور را نسبت به تغییرات جزئی دما بیشتر آسیب‌پذیر می‌کند؛ زیرا تغییرات دما از عوامل تنش‌زا و محدودکننده رشد گیاهی، حیات انسانی و جانوری به شمار می‌رود که می‌تواند ثبات و انعطاف‌پذیری آن‌ها را نسبت به این تغییرات به چالش بکشد. موج سرما و گرما یک پدیده جوی است که توسط سردی و گرمی هوا یا استیلای هوای سرد یا گرم در یک ناحیه بزرگ مشخص می‌شود .این رخدادها می‌توانند در یک دوره مشخص با هوای به‌شدت سرد یا گرم همراه باشند. رطوبت بالا می‌تواند اثر موج گرما را افزایش دهد درحالی‌که بادهای شدید اثر موج سرما را افزایش می‌دهند (stocks، ۲۰۰٤). Basara و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی در شهر اوکلاهما ضمن بررسی تأثیرات جزیره گرمایی بخش مرکزی شهر بعد از یک دوره گرم نشان دادند که نسبت به مناطق روستایی در

1 ecosystem

مواجه با موج گرم و مرطوب، به ترتیب ۰،۵ تا ۲ درجه در روز و شب گرمای بیشتری تولید می‌کند. Makokha and Shisany (۲۰۱۰) در بررسی تغییرات میانگین دمای سالانه نزدیک به سطح زمین در شهر نایروبی برای بازه زمانی ۱۹۹۹–۱۹٦٦ با استفاده از آزمون رتبه‌ای من–کندال و رگرسیون خطی، نشان دادند که تغییر در میانگین دمای کمینه بیشتر از میانگین دمای بیشینه است. افزایش قابل‌توجه در میانگین دمای کمینه در ایستگاه‌های شهری مرکزی معنادارتر بوده که نشانه‌ای از تأثیر بیشتر گسترش شهرنشینی و منطقه تجاری مرکزی بر روی میانگین دما نسبت به حومه‌ها است. Gurevich و همکاران (2011) در تحقیقی با عنوان تحلیل آماری تغییرات دما در اسراییل در یک بازه زمانی ۳۷ ساله (۱۹٦۷–۲۰۰۳) نشان دادند که الگوی پیچیده‌ای از تغییرات درروند دمای ماهانه و روزانه (میانگین، میانگین بیشینه و کمینه و دامنه تغییرات) دیده می‌شود به‌طوری‌که تمامی مناطق اسراییل در فصل گرم از اواسط دهه ۱۹۸۰ تا اواسط ۱۹۹۰ با افزایش میانگین دمای ماهانه مواجه بوده‌اند که نشانه گرم‌تر شدن تابستان است. Altin و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با عنوان تغییر در مقدار دما طی سه دهه (۲۰۰۷–۱۹۷۵) در آناتولی مرکزی نشان داده‌اند که افزایش متنابهی در مقدار دما صورت گرفته است (۰،٤ درجه). Peterson و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی، به بررسی امواج گرمایی و سرمایی در ایالات‌متحده نشان دادند که دوره‌های گرم در حال افزایش هستند ولی دوره‌های سرد کاهش‌یافته‌اند. Peng و همکاران (۲۰۱٤) در پژوهشی با عنوان ارزیابی تغییرات و ویژگی‌های دمای هوا در حوزه تاریم در بازه زمانی ۱۹٦۰ تا ۲۰۱۲ با استفاده از روش من–کندال و رگرسیون نشان دادند که شواهدی از گرم شدن وجود دارد که عمدتاً ازنظر گستره فضایی و زمانی متفاوت است و دلیل این تفاوت شرایط محیطی محلی مانند ارتفاع است. همچنین پدیده‌های اقلیمی وسیع ممکن است بر تغییرات زمانی دمای هوا در حوزه تاریم تأثیر بگذارد. آن‌ها همچنین نشان می‌دهند که مقدار افزایش میانگین دمای کمینه بسیار بیشتر از آهنگ افزایش میانگین دمای سالانه و دمای بیشینه بوده است (۰،۵۵ درجه سانتی‌گراد در مقابل ۰،۲۵ و ۰،۱۲ درجه سانتی‌گراد).Qu و همکاران (۲۰۱٤) در تحقیقی با عنوان تحلیل تغییر دامنه دمای روزانه هوا و دمای میانگین آب‌وهوای ایالات‌متحده آمریکا طی بازه زمانی ۲۰۱۲–۱۹۱۱ از طریق محاسبه میانگین ماهانه و فصلی اختلاف دمای شبانه‌روزی نشان می‌دهند که درحالی‌که متوسط دامنه تغییرات شبانه‌روزی دمای سالانه ایالات‌متحده در دهه‌های گذشته به‌طور پیوسته کاهش‌یافته است، ولی این کاهش دارای الگوهای زمانی و فصلی است. پاییز و زمستان شاهد کاهش قابل‌توجهی در دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما بوده است. از سوی دیگر بهار و تابستان اختلاف دمای شبانه‌روزی بسیار کمی را تجربه کرده‌اند. Mugume و همکاران (۲۰۱٦) در تحقیقی با عنوان تحلیل وردایی دما در نواحی بیابانی و شهری شمال چین با استفاده از محاسبه بی‌هنجاری میانگین دما و آزمون روند من–کندال و تحلیل رگرسیون نشان می‌دهند که دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در هر دو ناحیه بیابانی و شهری در فصل بهار کاهش می‌یابد ولی در تابستان مقدار دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما در شهرها کاهش و در مناطق بیابانی افزایش می‌یابد. روزهای با دمای بالا و فرآیندهای فرین

گرم برای هر دو نـاحیـه افزایش می‌یـابـد. Lin و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به‌منظور ارزیابی توزیع مکانی-زمانی رخداد دماهای فرین در پاسـخ به گرمایش جهانی در مناطق کوهسـتانی و خشک شمال غرب چین با استفاده از روش رگرسـیون خطی و آزمون نا پارامتری من–کندال، نشـان می‌دهند که با گرم شـدن کره زمین فرایندهای فرین دما در مناطق کوهسـتانی و خشـک به‌طور قابل‌توجهی رو به افزایش گذاشـته اسـت. Lewis and King (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحـت عنوان بررسـی تغییرات تدریجی در ویژگی‌های دمای میانگین بیشـینه و کمینه قرن ۲۱ برای مناطق مختلف اسـترالیا، آسـیا، اروپا و آمریکای شـمالی با اسـتفاده از مدل CMIP5 و تحت سـناریوی بدبینانه RCP8.5 و نیز تحلیل رگرسـیون کیفی نشـان دادند که افزایش دما در طول قرن ۲۱، یک ویژگی سازگار با تمام مدل‌های منطقه‌ای است. آن‌ها نشـان می‌دهند که دماهای فرین کمینه به‌طور بالقوه حسـاسـیت بیشـتری نسـبت به تغییرات واریانس و دماهای فرین بیشـینه دارند. رحیم زاده و عسـگری (۱۳۸۳) در تحقیقی با عنوان نگرشـی بر تفاوت نرخ افزایش دمای کمینه و بیشینه و کاهش دامنه شـبانه‌روزی دما در کشـور نشـان دادند که الگوی تغییرات در دمای کمینه و بیشـینه و میانگین در سطح کشـور یکسـان نیست. هرچند روند افزایشی دمای کمینه در اکثر ایستگاه‌ها به‌ویژه ایستگاه‌های واقع در شهرهای بزرگ رو به گسـترش، قابل ملاحظه اسـت، دامنه تغییرات شـبانه‌روزی دما در شـهرهای بزرگی چون تهران، شیراز و اصفهان نرخ کاهشـی قابل ملاحظه‌ای داشـته اسـت. ورشـاویان و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان بررسـی روند تغییرات مقادیر فرین دمای کمینه و بیشـینه و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران با اسـتفاده از داده‌های هشـت ایسـتگاه همدید بوشـهر، تبریز، تهران، مهرآباد، زاهدان، شـیراز، کرمان، کرمانشـاه و مشهد در بازه زمانی (۲۰۰٤–۱۹٦۱) به‌منظور اسـتخراج مقادیر فرین دما شـامل دهک‌های پایین (۱،۵،۱۰) دهک‌های بالا (۹۰،۹۵،۹۹) تعداد روزهای کمتر از صـدک پایین و بیشـتر از صـدک بالا و به‌کارگیری آزمون پارامتری و نا پارامتری رگرسـیون خطی حداقل مربعات، پیرسـون، p اسـپیرمن و آزمون معنی‌داری من–کندال نشـان داد که اغلب ایسـتگاه‌ها معنی‌دار افزایشی در مقادیر فرین دما بخصوص دمای کمینه از خود نشـان دادند. صـادقی و همکاران (۱۳۹۱) با اسـتفاده از داده‌های دمای کمینه ۱۳ ایستگاه سینوپتیک در دوره ۱۳۸۹–۱۳٦۸ و نمره z به مطالعه روزهای فرین سـرد و الگوی سینوپتیکی آن در شمال شرق ایران نشان دادند که دلیل نفوذ موج‌های سـرد به این منطقه فرود موج بلند، موج کوتاه و سـردچاله‌ها هستند. لطفی و همکاران (۱۳۹۳)، به‌منظور بررسـی تأثیر شـهر بر دمای سـالانه در شـمال شـرقی ایران با اسـتفاده از داده‌های ایستگاه‌های بیرجند، مشهد، سـبزوار و تربت‌حیدریه با اسـتفاده از آزمون من کندال و آزمون t در بازه زمانی ۱۹٦۰ تا ۲۰۱۱ نشـان داده‌اند که روند دما در ایسـتگاه‌های داخل شـهر و خارج شـهر کاملاً متفاوت اسـت. به‌طوری‌که دمای میانگین بیشینه و کمینه سالانه در ایسـتگاه‌های داخل محدوده شـهری روند افزایشـی نشـان می‌دهند. درحالی‌که در ایسـتگاه‌های خارج از شـهر دمای میانگین سـالانه بدون روند بوده و دمای بیشـینه ایسـتگاه‌های تربت‌حیدریه و دمای کمینه بیرجند روند کاهشـی داشـته اسـت. احمدی و رادمنش (۱۳۹۳) در تحقیقی با عنوان بررسـی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه شمالی

کشـور در نیم‌قرن اخیر با اسـتفاده از داده‌های ۱۸ ایسـتگاه همدید در بازه زمانی (۲۰۱۰–۱۹۶۱) با روش نا پارامتری من–کندال با حذف اثر کلیه ضـرایب خودهمبستگی و همچنین روش تخمین گر شیب سن، به‌منظور تعیین شیب‌خط روند دما نشـان دادند که در مقیاس سـالانه ٦١ درصـد ایسـتگاه‌ها روند افزایشـی معنی‌دار را تجربه کرده‌اند و فقط ایسـتگاه‌های ارومیه، زنجان، قزوین و گرگان افزایش معنی‌دار در دما نداشـتند. دراین‌بین ایسـتگاه اراک روند کاهشـی معنی‌دار و ایسـتگاه تربت‌حیدریه و سـقز روند منفی غیر معنی‌دار را در مقیاس سـالانه تجربه کرده‌اند. در مقیاس ماهانه تعداد دماهای با روند افزایشـی بیشتر از تعداد ماه‌های با روند کاهشی بوده است به‌طورکلی دمای منطقه موردمطالعه در نیم‌قرن اخیر ۱٫۱۵ درجه سـانتی‌گراد افزایش‌یافته اسـت. دارند (۱۳۹٤) در تحقیقی با عنوان ارزیابی و شـناخت تغییر اقلیم ایران‌زمین طی دهه‌های اخیر با اسـتفاده از داده‌های دمای کمینه و بیشـینه ۱٤۳۷ ایستگاه همدیدی و اقلیمی در بازه زمانی ۱۳٤۰ تا ۱۳۸۱ نشـان می‌دهد، نمایه‌های فرین گرم روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب‌های گرم و شب‌های حاره‌ای در دوره موردمطالعه رو به افزایش اسـت. درحالی‌که روند نمایه‌های فرین سـرد رو به کاهش اسـت، امواج گرمایی طولانی‌تر شـده و برعکس موج‌های سـرد کوتاه‌تر شده‌اند. افزایش بیشتر نرخ دمای شبانه نسبت به دمای روزانه منجر به کاهش دامنه دمای شـبانه‌روزی شـده است. شمس و موسوی بایگی (۱۳۹۵)، در تحقیقی با عنوان بررسی نقطه شـکسـت و روند تغییرات دامنه شـبانه‌روزی دمای هوای شـهر مشهد در بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ با استفاده از آزمون SNHT، Buishand، Pettitt، Von-Neumann و کندال–تاو نشـان دادند که دامنه تغییرات شـبانه‌روزی ایسـتگاه مشـهد روند کاهشـی داشـته اسـت. نقطه شـکسـت در این سـری زمانی در حوالی سال ۱۹۸۵ است. قاسمی پور و ناصرپور (۱۳۹۵) در تحلیل سـینوپتیکی امواج گرم و سـرد در سـواحل جنوبی دریای کاسـپین نشـان دادند که ایسـتگاه انزلی و رشـت کمترین فراوانی موج سـرد و گرگان نیز کمترین فراوانی موج گرم را داشـته‌اند. حلبیان و همکاران (۱۳۹٦) در تحقیقی با عنوان ارزیابی تغییر دمای بیشـینه و کمینه فصلی ایران با استفاده از آزمون آماری من–کندال و پایگاه داده‌های یاخته‌ای در مقیاس جهانی موجود در تارنمای دانشـگاه سـانتا کلارا با تفکیک مکانی نیم در نیم درجه نشـان دادند که دمای بیشـینه شـمال غرب ایران و جنوبی در هر چهارفصـل بدون روند اسـت و در فصـل زمستان کمترین پهنه را در شـمال شـرق ایران به خود اختصـاص می‌دهد. این درحالی‌که اسـت که در فصـل پاییز نواحی مرکزی و شمال غرب ایران دمای بیشـینه پاییز بدون روند اسـت و نواحی شـرقی و فارس در این فصـل دارای روند هست. دمای کمینه اکثر مناطق ایران روندی افزایشـی دارد. علیزاده و همکاران (۱۳۹٦) در مطالعه‌ای با عنوان بررسـی روند تغییرات دمای هوا در مناطق مختلف ایران با اسـتفاده از داده‌های ۱۵ منطقه ایران در بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳ نشـان دادند که دمای کمینه، بیشـینه و میانگین روزانه در بیشـتر مناطق ایران روند افزایشـی داشـته اسـت. روند افزایش دمای کمینه بیشـتر از روند افزایش دمای بیشـینه بوده اسـت که عمدتاً ناشـی از گسـترش شـهرسـازی اسـت که از طریق مسـدود کردن تابش طول‌موج بلند خروجی، نقش مؤثری در افزایش دمای کمینه ایفا می‌کند. همچنین آلودگی هوای شـهری باعث کاهش

تابش خورشـیدی رسـیده به سـطح زمین می‌شود، بنابراین روند افزایش دمای بیشینه را کند می‌کند. در این مقاله سعی شده است به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

الف: در دوره ٦٠ ســاله، آیا روندی در تغییرات دمای بیشــینه و کمینه ایســتگاه‌های مورد مطالعه وجود دارد؟ و آیا این تغییرات فراگیر است؟

ب: آیا بی‌هنجاری‌های دما در دوره‌های مورد مطالعه قابل ملاحظه و معنی دار است؟

ج: آیا بی‌هنجاری‌های دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌ها از روند یکسانی برخوردارند؟

به همین منظور هدف این مطالعه بررســی بی‌هنجاری‌های رفتاری فراســنج میانگین دمای کمینه و بیشــینه در یک دوره ٦٠ ســاله (١٩٥١–٢٠١٠)، دو دوره ٣٠ ســاله (١٩٥١–١٩٨٠)، (١٩٨١–٢٠١٠) و همچنین دو دوره ١٠ ســاله (١٩٥١–١٩٦٠)، (٢٠٠١–٢٠١٠) برای شـناسـایی دوره‌های گرم و سـرد فراگیر وآشکارسازی تفاوت محلی آن است که می‌تواند گامی مؤثر در ضـرورت توجه هر چه بیشـتر به مدیریت بحران اقلیمی محسـوب شـود. شایان توجه است که هرچند داده‌های آماری ازنظر کیفی بررســی‌شــده‌اند و نتایج مثبتی داشــته‌اند، ولی نمی‌توان به‌صــورت کامل به داده‌ها اعتماد کرد؛ زیرا جابجایی حتی مختصـر ایستگاه در حد کیلومتر، تغییر ابزار و ادوات اندازه‌گیری و نیز تغییر دیدبان‌ها با تجربیات و سـطوح مهارتی مختلف به‌صـورت دوره‌ای، می‌توانند ازجمله عواملی باشــند که کیفیت داده‌ها و نتیجه کار را تحت تأثیر قرار دهند.

٢- مواد و روش‌ها

داده‌های روزانه دمای بیشـینه و کمینه دریافتی ایسـتگاه‌های همدید کشـور از بدو تأسـیس تا سال ٢٠١٠ از سازمان هواشــناســی دریافت و با توجه به پایه آماری مشــترک انتخابی برای یک دوره ٦٠ ســاله (١٩٥١–٢٠١٠)، از بین ٢٠٠ ایسـتگاه همدید، ٢٦ ایستگاه انتخاب و داده‌های آن‌ها با توجه به موارد پیشنهادی سازمان جهانی هواشناسی ازنظر کیفی بررسـی (WMO, No. ٨٥,١١١,٣٠٦) و موارد خطای آماری تصـحیح شـد. سپس با استفاده از داده‌های دمای بیشینه و کمینه روزانه، میانگین دمای ماهانه این فرا سـنج‌ها تهیه و سـپس میانگین، ضـریب تغییرات و چولگی آن‌ها برای فصل بهار و تابســتان و نیز دوره گرم برای یک بازه زمانی ٦٠ ســاله (١٩٥١–٢٠١٠)، دو دوره ٣٠ ســاله (١٩٥١–١٩٨٠) و (١٩٨١–٢٠١٠) و دو دوره ١٠ سـاله (١٩٥١–١٩٦٠) و (٢٠٠١–٢٠١٠) محاسـبه شد. علاوه بر این به‌منظور آشکارسازی امواج گرم و سـرد فرین و فراگیر با استفاده از نرم‌افزارR ٢٠ درصد کمینه و بیشینه داده‌ها به‌عنوان شاخصی برای تعیین دوره‌های گرم و سـرد برآورد شـد. در مرحله بعد با اسـتفاده از برنامه ماکروی تهیه‌شده آزمون من–کندال و بکار گیری آن در نرم‌افزار مینی تب، معنی‌دار بودن روند داده‌های میانگین دمای کمینه و بیشـینه فصل بهار، تابستان و دوره گرم در یک دوره ٦٠ سـاله مشـخص شـد. برای بررسـی چگونگی تغییرات دمای کمینه و بیشـینه در مناطق مختلف کشـور، آماره‌های محاسـبه‌شـده به محیط GIS فراخوانی و با اسـتفاده از روش IDW به نقشـه‌های موضوعی تبدیل و سپس به

تحلیل آن‌ها اقدام شد. شایان گفتن است که برای فصل بهار ماه‌های اپریل، می و جون، برای فصل تابستان ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر و برای دوره گرم ماه‌های (اپریل – سپتامبر)، تعریف‌شده است.

۳- نتایج و بحث

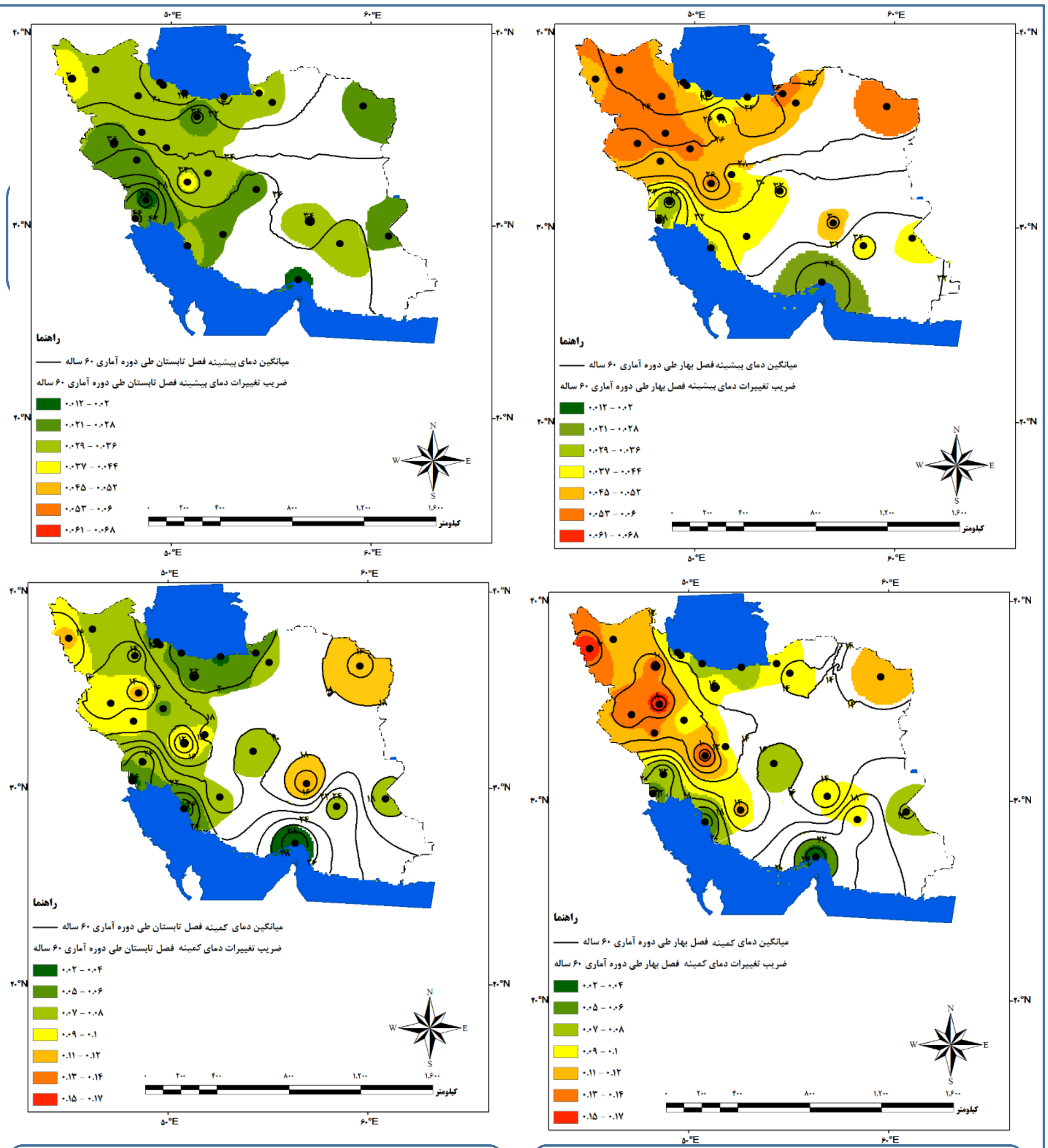
۳-۱- بررسی نقشه‌های میانگین و ضریب تغییرات دمای کمینه و بیشینه فصل بهار و تابستان

بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که الگوی میانگین دمای کمینه و بیشینه فصل بهار (شکل ۱-الف و ج) و تابستان (شکل ۱-ب و د) در بازه‌های زمانی موردمطالعه با تغییراتی جزئی شبیه هم هستند؛ بنابراین سامانه‌های تأثیرگذار بر اقلیم ایران تغییرات چندانی نداشته و فقط ازنظر شدت و وسعت عملکرد متفاوت هستند. الگوی ضریب تغییرات میانگین دمای کمینه و بیشینه در بازه زمانی ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم، نسبت به ۳۰ ساله و ۱۰ ساله اول تغییرات جزئی را نشان می‌دهند که در نیمه غربی و حوزه کاسپین، نسبت به بقیه مناطق با تغییرپذیری بیشتری همراه است. بررسی و مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در دوره ۳۰ ساله دوم نسبت به بازه زمانی ۳۰ ساله اول و ۶۰ ساله، به ترتیب ۶ ایستگاه بین (۰٫۱[1]–۱٫۹) و ۵ ایستگاه بین (۰٫۱ – ۱) کاهش در میانگین دمای کمینه را تجربه کردند. بقیه ایستگاه‌ها طی همین مدت، با افزایشی بین (۰٫۲ – ۲٫۶) و (۰٫۱ – ۱٫۳) در میانگین دمای کمینه مواجه بوده‌اند. همچنین ۶ ایستگاه از ۲۶ ایستگاه در ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ ساله اول و ۶۰ ساله، به ترتیب (۰٫۴–۰٫۹) و (۰٫۲–۰٫۴) کاهش در میانگین دمای بیشینه و بقیه ایستگاه‌ها (۰٫۲–۱٫۴) و (۰٫۱–۰٫۷) افزایش داشته‌اند (شکل ۲ و ۳). آهنگ افزایش در میانگین حداکثر دما کمتر ولی در میانگین حداقل دما بیشتر است، که سبب کاهش دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما شده است. لازم به توضیح است که اختلاف دوره ۳۰ ساله دوم نسبت به دوره ۶۰ ساله، خیلی کمتر از اختلاف دوره ۳۰ ساله اول نسبت به ۳۰ ساله دوم است. یادآوری می‌شود که استفاده از رابطه خطی من کندال در دوره ۶۰ ساله نتوانسته است این تغییرات را به‌خوبی نشان دهد. به نظر می‌رسد نتایج مطالعاتی که تغییرات دما و روند آن را در دوره‌ای معین فقط با استفاده از روش من کندال، بررسی کرده‌اند ممکن است با واقعیت همخوانی نداشته باشد. (جدول ۱ تا ۴). به نظر می‌رسد که ارومیه و زنجان در ۳۰ ساله دوم تحت تأثیر بیشتر فعالیت سامانه‌های شمالی با هوای سرد قرارگرفته باشند. ازاین‌رو با کاهش ۰٫۳ تا ۰٫۶ درجه در میانگین دمای بیشینه مواجه بوده‌اند. در مورد خرم‌آباد، شهرکرد و اراک چنین برداشت می‌شود که ورود سامانه‌های هوای سرد از شمال غرب و نفوذ سریع آن‌ها در قالب راهه‌ها با امتداد شمال غرب–جنوب شرق و سپس تجمع و انباشت این هواهای سرد نفوذی با توجه به آرایش ناهمواری‌ها در این مناطق، سبب شده است تا با کاهش میانگین دمای بیشینه فصل بهار مواجه شوند. انتظار می‌رود که با توجه به تمرکز جمعیت شهر اراک و همچنین صنعتی بودن آن به‌ویژه توسعه صنایع پتروشیمی، گسترش شهری، تغییر کاربری

---

۱ مقیاس دمایی در سرتاسر متن درجه سانتی‌گراد هست.

اراضـی و سـاخت‌وسـاز گسترده، در ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم، بر مقدار میانگین دمای بیشینه تجربه‌شده آن افزوده شود، ولی شـواهد کاهش میانگین ۰,٦ درجه این فراسـنج را نشان می‌دهند که ممکن است به دلیل مصرف بیشتر مواد گازی نسـبت به مواد سـوختی جامد و مایع در مراکز صـنعتی و خانگی باشـد. در فصـل تابسـتان به علت افزایش ارتفاع خورشـید در نواحی جنوبی، افزایش ارتفاع خورشـید و طول روز در نواحی شـمالی، افزایش گرمای محسـوس و همچنین نزول دینامیکی هوا زیر تراز ۷۰۰ هکتوپاسـکال، ضـخامت کم لایه‌مرزی شبانه و محبوس شدن طول‌موج بلند تابشـی شـبانه زمین در این لایه؛ رژیم دمایی یکنواخت شده و تغییرات بین ماهانه در این فصل دیده نمی‌شود. درنتیجه مقدار ضـریب تغییرات میانگین دمای بیشـینه و کمینه این فصـل که میانگین آن‌ها دارای تغییرات بین سـالانه کمی می‌باشـند، بسـیار ناچیز است. به نظر می‌رسد که اثرگذاری سامانه‌های با منشأ جنوبی و حاکمیت پر ارتفاع جنب حاره که موجب افزایش انرژی گرمایشـی در دوره گرم سـال می‌شـوند، در دوره ۳۰ سـاله دوم بیشتر بوده است (شکل ۳ تا ۵). آنچه در این ارتباط باید بیشـتر موردتوجه قرارداد، جابجایی شـمال سـوی پرارتفاع جنب حاره از بهار به‌سـوی تابسـتان و نوسـانات روزانه آن اسـت که از اوایل می، نیمه جنوبی کشـور را به‌شـدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش میانگین دمای کمینه و بیشـینه بیشتر ایستگاه‌ها در دوره ۳۰ ساله دوم نشان می‌دهد که صرف‌نظر از تغییرات دما در پهنه کشـور که با پیچیدگی‌های متفاوتی همراه اسـت و نشـانه تأثیرگذاری متفاوت عوامل محلی بر روی سامانه‌های عبوری اسـت، می‌توان چنین اسـتنباط کرد که این تغییرات همسـو و همگام با افزایش گرمایش جهانی بوده اسـت. نتایج نشان می‌دهد شـهرهایی که طی ۳۰ سـاله دوم با رشـد افسارگسیخته جمعیت و گسترش فضای کالبدی شهر مواجه بوده‌اند، افزایش بیشـتری را در میانگین دمای بیشـینه و به‌ویژه دمای کمینه تجربه کرده‌اند که نشـانه تأثیر انسـان در سـامانه اقلیم اسـت. مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد که به‌غیر از ایستگاه تبریز و کرمانشاه در حوزه شمال‌غرب و غرب، بقیه ایستگاه‌های این حوزه با کاهش میانگین کمینه دمای تابسـتانه بین ۰,۳ تا ۱,۹ مواجه بوده‌اند (شـکل ٤ و ٥) که می‌تواند علاوه بر کـاهش ظرفیـت رطوبـت‌پـذیری هوا و میزان تبخیر و تعرق؛ روی رطوبـت خـاک، دبی رودهـا و همچنین در مقدار تقاضـای انرژی برای سـرمایش واحدهای مسکونی، اداری و کارگاهی تأثیر بگذارد. به‌نظر می‌رسد که در دوره ۳۰ ساله دوم افزایش میانگین دمای کمینه ۲۰ ایسـتگاه، سـبب تقویت پرارتفاع جنب حاره و حرکت شـمال سـوی آن تا نواحی شـمالی دریای کاسـپین گردیده و موجب شده تا فضای مناسبی در سواحل جنوبی ایران، به‌ویژه از بندرعباس تا چابهار برای اثرگذاری سامانه‌های مونسونی فراهم شود.

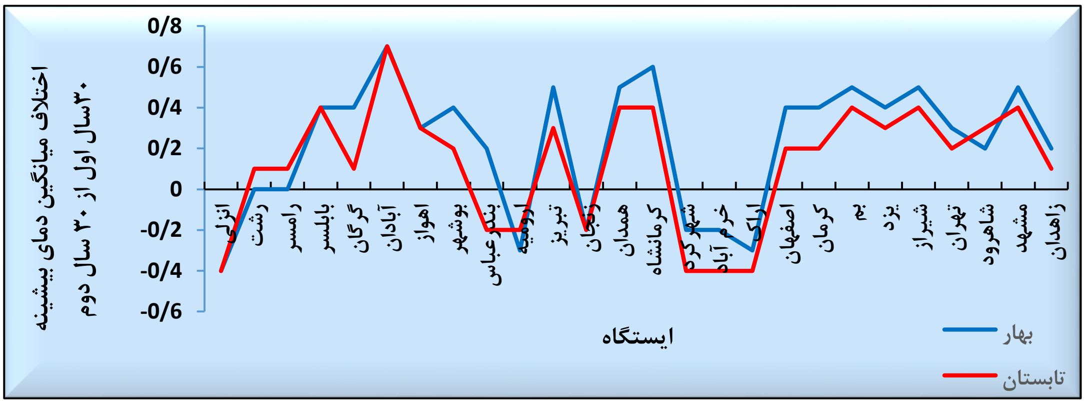


ج) میانگین و ضریب تغییرات دمای کمینه بهار

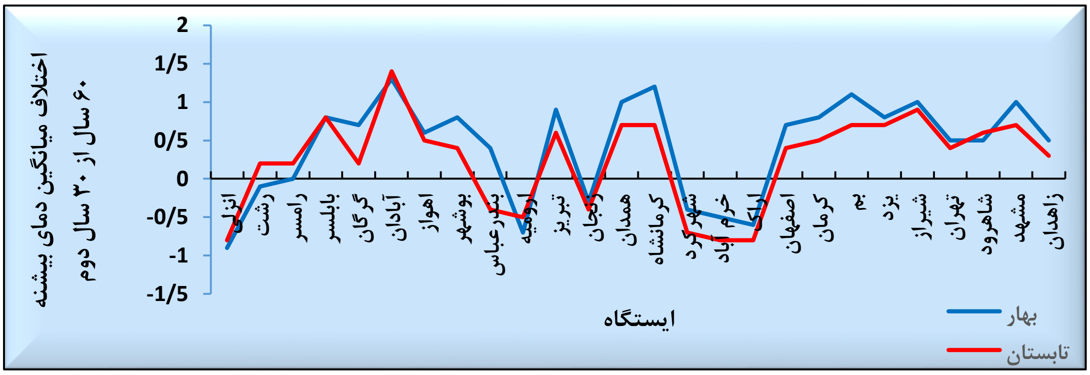
د) میانگین و ضریب تغییرات دمای بیشینه

شکل ١- الگوی میانگین و ضریب تغییرات دمای کمینه و بیشینه بهار و تابستان طی دوره آماری ٦٠ ساله (١٩٥١-٢٠١٠)

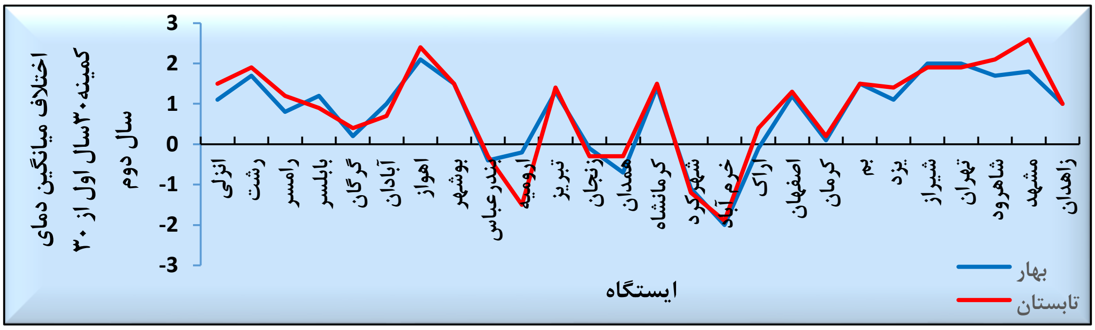
در نتیجه ممکن است که انتقال رطوبت و هوای سرد به همراه پدیده ابرناکی ناشی از تقویت نسیم دریا به خشکی و مونسون بیشتر شود که این نیز سبب کاهش میانگین کمینه دمای تجربه شده در ایستگاه بندرعباس به مقدار ۰,۳ درجه در ۳۰ ساله دوم نسبت به دوره ۳۰ سال اول، شده است (شکل ٤). ضریب تغییرات در نیمه غربی و شرقی در فصل تابستان بیشتر است. علت آن در نیمه غربی ناهمواری و تأثیرگذاری سامانه‌های ورودی به کشور است، ولی در نیمه شرقی موقعیت برّی، دوری از منابع رطوبت و همچنین شرایط محلی منطقه، یعنی کویری بودن و آسمان صاف و فقر زیاد رطوبت نسبی که موجب شده است تا ضریب تغییرات مربوط به میانگین دمای کمینه تابستان این مناطق بالاتر باشد (شکل ۱–د).



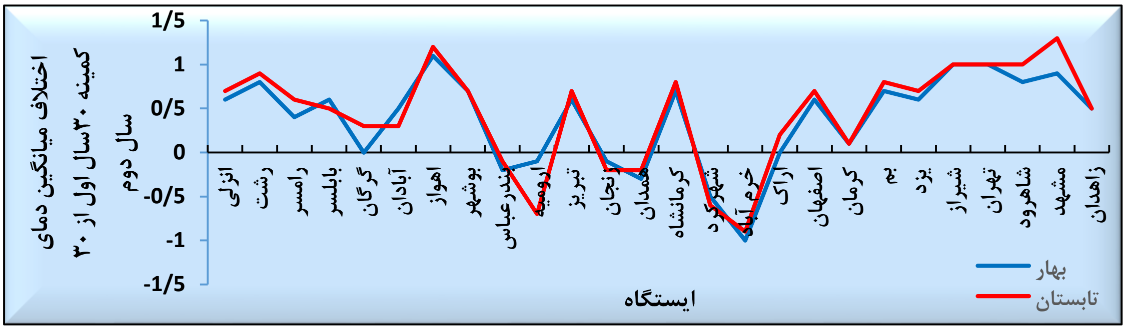
شکل ۲– اختلاف میانگین دمای بیشینه ۳۰ ساله اول (۱۹۸۰–۱۹۵۱) از ۳۰ سال دوم (۲۰۱۰–۱۹۸۱)–(بهار و تابستان)



شکل ۳– اختلاف میانگین دمای بیشینه ٦۰ ساله (۲۰۱۰–۱۹۵۱) از ۳۰ سال دوم (۲۰۱۰–۱۹۸۱)–(بهار و تابستان)



شکل ٤- اختلاف میانگین دمای کمینه ۳۰ ساله اول (۱۹۸۰-۱۹۵۱) از ۳۰ سال دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱)-(بهار و تابستان)



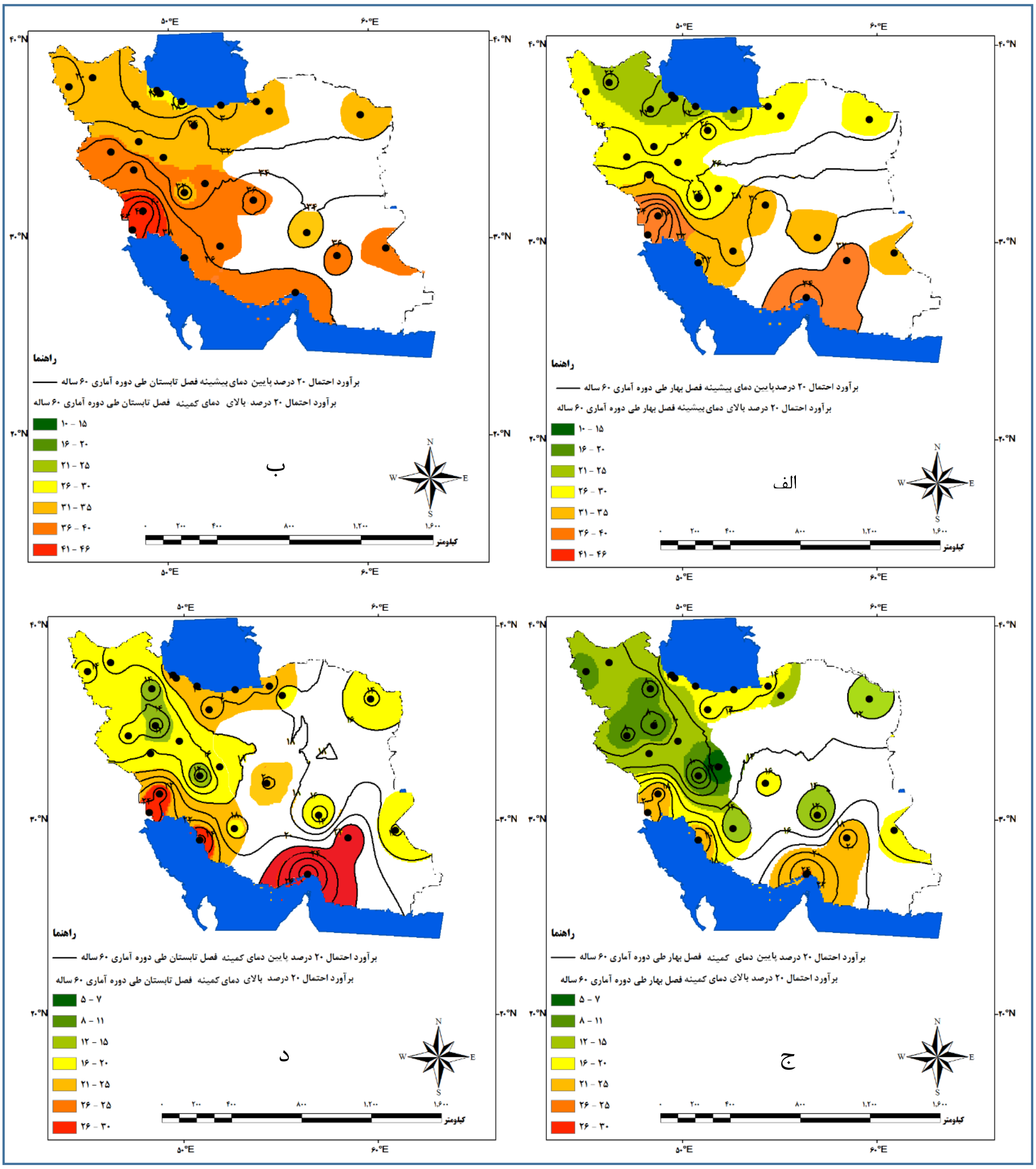
شکل ٥- اختلاف میانگین دمای کمینه ٦٠ ساله (۲۰۱۰-۱۹۵۱) از ۳۰ سال دوم (۲۰۱۰-۱۹۸۱)-(بهار و تابستان)

۳-۲- برآورد احتمال ۲۰ درصد حد بالای میانگین دمای بیشینه و ۲۰ درصد حد پایین میانگین دمای کمینه بهار و تابستان در دو دوره ۳۰ ساله

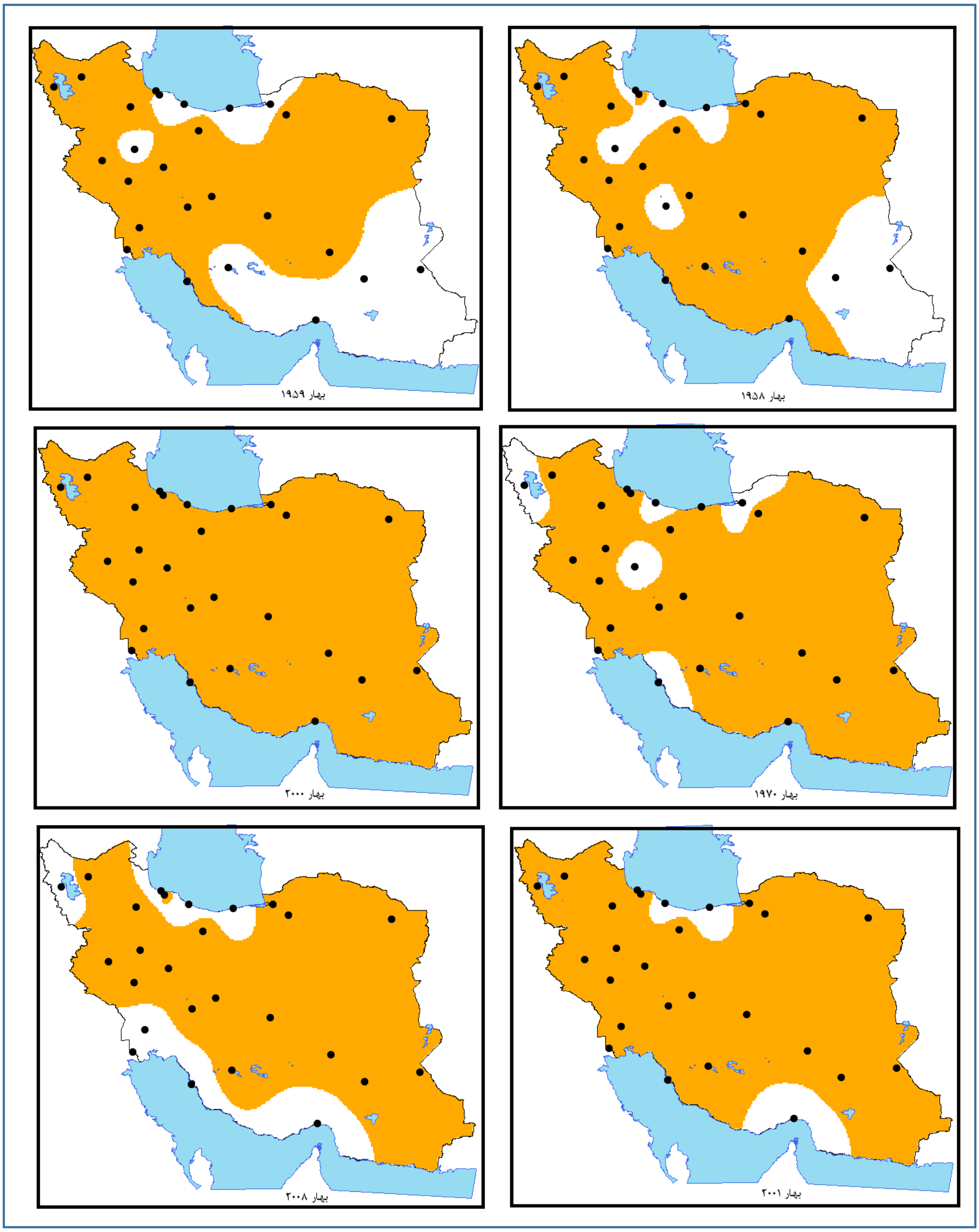
بررسی ۲۰ درصد حد بالای میانگین دمای بیشینه فصل بهار و تابستان در دوره ۳۰ ساله اول و دوم (شکل ۷ و ۸) و دوره ٦٠ ساله (شکل ٦-الف و ب) که بیانگر نفوذ دوره گرم فراگیر عرض‌های جنوبی و تشدید فعالیت پر ارتفاع دینامیکی جنب‌حاره‌ای در این دو فصل هست، نشان می‌دهد که در دوره ۳۰ ساله دوم تواتر و گسترش نفوذ دوره گرم فصل بهار و تابستان افزایش‌یافته است (شکل ۷ و ۸). فصل بهار با عقب‌نشینی منطقه بارندگی از نواحی جنوبی و مرکزی ایران به سمت شمال و شمال غرب ازیک‌طرف و افزایش طول مدت تابش و ارتفاع خورشید از طرفی دیگر همراه است. نتیجه این فرآیند، افزایش میانگین دمای بیشینه ماهانه این مناطق در بهار و تابستان است. در نیمه شمالی، غربی و شمال غرب، میزان این افزایش کمتر است. در هر دو فصل در بازه زمانی ۳۰ ساله دوم، میانگین بیشینه دمای بیشینه افزایش داشته است و گستره عملکردی متفاوتی را نشان می‌دهد. بالاترین میانگین دمای بیشینه در جنوب غرب و جنوب تجربه می‌شود. در بخش مرکزی و نیمه شرقی به سبب وجود انرژی تابشی روزانه بیشتر طی

ماه‌های می تا اوت وبرتری آن نسبت به تابش شبانه، کم‌فشار گرمایی باضخامت نه‌چندان زیاد شکل می‌گیرد که از سازوکارهای نسبتاً پایدار و دائمی تابستان این منطقه به شمار می‌رود که دلیل موجهی برای بالا بودن دمای بیشینه تابستانه این مناطق است. واکاوی داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های همدیدی نشان می‌دهد در ۳۰ ساله اول سه مورد دوره گرم فراگیر طی فصل بهار در سال‌های ۱۹۵۹، ۱۹۵۸ و ۱۹۷۰ در کشور تجربه شده است (شکل شکل ۷). در ۳۰ سال دوم در همین فصل، سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۰ به‌عنوان گسترده‌ترین دوره گرم کشور به حساب می آیند (شکل ۷). نکته قابل‌توجه این است که سال ۲۰۰۰ در ۳۰ ساله دوم به‌عنوان فراگیرترین دوره گرم کشور طی فصل بهار در این دوره و همچنین در بازه ٦۰ ساله بوده است. در مورد فصل تابستان نیز وضعیت همین‌گونه است. به‌طوری‌که سال‌های ۱۹۵۸، ۱۹۷۰ و ۱۹۷۵ به‌عنوان فراگیرترین دوره گرم این فصل در ۳۰ سال اول محسوب می شود. در ۳۰ ساله دوم گسترده‌ترین رخداد دوره گرم کشور مربوط به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۰ است (شکل ۸). بررسی‌ها نشان می‌دهد که رخداد بیشینه میانگین دمای بیشینه فراگیر در فصل بهار با بیشینه میانگین حداکثر فراگیر تابستان به‌غیراز سال‌های ۱۹۵۹ و ۱۹۷۵ به‌صورت پی‌درپی رخ‌داده است و با یکدیگر انطباق دارند (شکل ۷ و ۸). شکل‌های ۷ و ۸ به‌صورت ضمنی نشان‌دهنده ظهور شواهد تغییر اقلیم به‌صورت نسبی در کشور است، به‌گونه‌ای که شدت و فرکانس رخداد ۲۰ درصد حد بالای میانگین دمای بیشینه فراگیر در فصل بهار و تابستان که نشان‌دهنده تسلط بیشتر دوره گرم محسوب می‌شود، در دوره ۳۰ ساله دوم بیشتر شده است. بررسی الگوی احتمال ۲۰ درصد حد پایین میانگین دمای کمینه برای دو دوره ۳۰ ساله (شکل ۹ و ۱۰) و دوره ٦۰ ساله (شکل ٦ ج و د) که بیانگر نفوذ هوای سرد نسبی شمالی فراگیر در فصل بهار و تابستان است، نشان می‌دهد که الگوهای تأثیرگذار بر روی دمای کشور با تغییرات جزئی، شبیه هم هستند. با توجه به تغییرات جزئی که در ۳۰ ساله دوم نسبت به ۳۰ ساله اول، به نظر می‌رسد که نیمه شمالی به‌ویژه سواحل کاسپین در دوره ۳۰ ساله دوم با افزایش بیشتر میانگین دمای کمینه مواجه بوده است (شکل شکل ۹ و ۱۰). درنتیجه چنین استنباط می‌شود که اثرگذاری توده‌های هوای سرد در ۳۰ ساله دوم ضعیف‌تر شده و یا از سرمای کمتری برخوردارند. برآیند این وضعیت کاهش دامنه تغییرات دمای شبانه‌روز و درنتیجه تغییر در دوره رشد، میزان آبدهی رودها و نیاز به تأسیسات سرمایشی و گرمایشی منطقه‌ای هست. در هر دو فصل بهار و تابستان طی دوره آماری ۳۰ ساله دوم نسبت به دوره ۳۰ ساله اول، تواتر و محدوده اثرات دوره سرد فراگیر بیشتر شده است. به‌طوری‌که از شکل ۹ دریافت می‌شود سال‌های ۱۹٥٦، ۱۹۵۷ و ۱۹٦۷ به‌عنوان فراگیرترین دوره‌های سرد ۳۰ ساله اول فصل بهار بوده که اثرات آن در ١٤ تا ٢٤ ایستگاه همدیدی کشور مشاهده می‌شود. درحالی‌که در ۳۰ سال دوم (شکل ۹)، بین ۱۷ تا ٢٦ ایستگاه را طی سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۸٤ و ۱۹۹۲ شامل می‌شود که نشان‌دهنده تأثیرگذاری بیشتر سامانه‌های سرد مهاجر و نفوذ بیشتر سرما در گستره کشور طی فصل بهار است. بررسی فراسنج فوق در فصل تابستان نشان می‌دهد که در دوره ۳۰ ساله دوم فراگیرترین دوره‌های سرد طی سال‌های ۱۹۸۲،

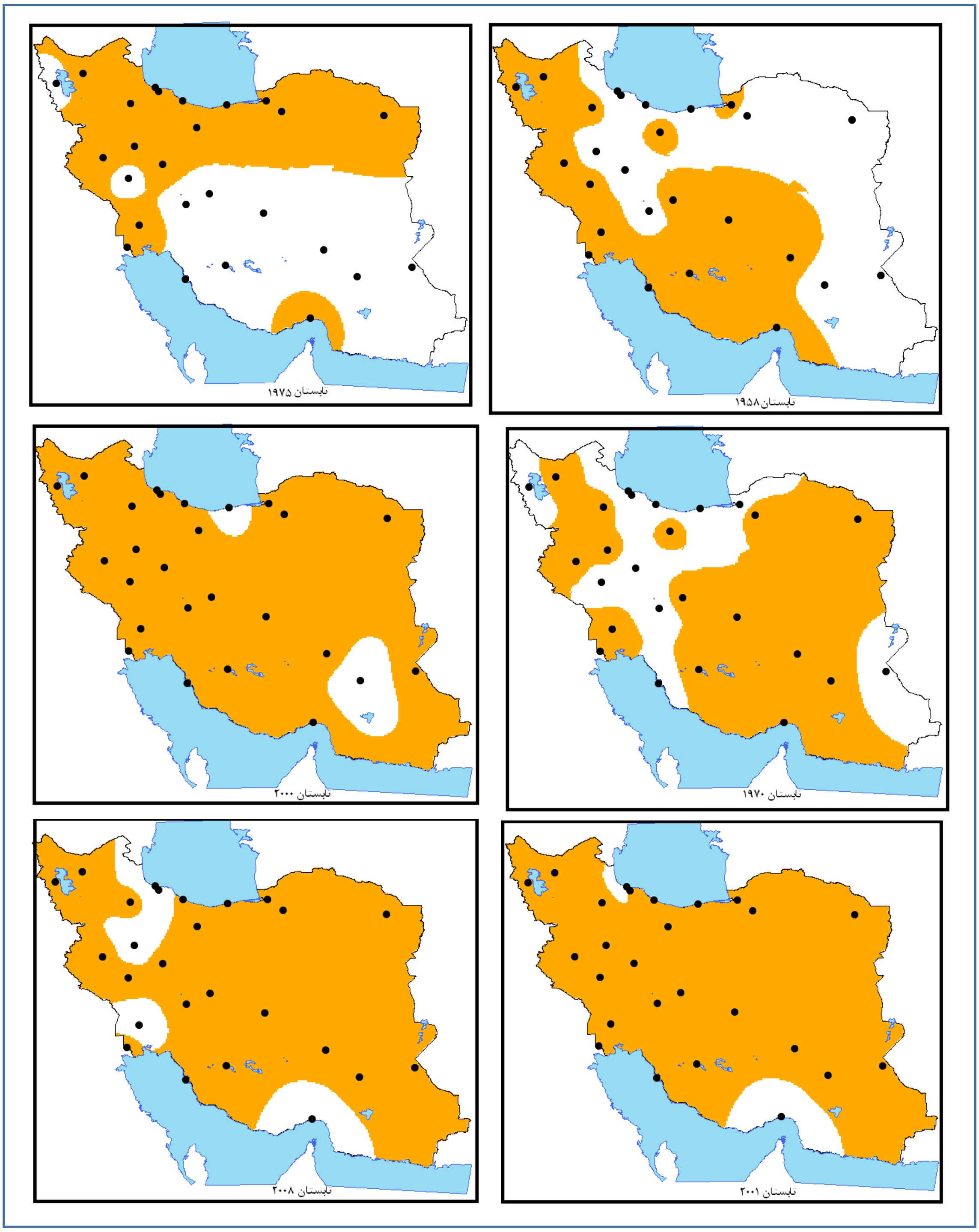
۱۹۸۵ و ۱۹۹۲ بوده است. درحالی‌که طی ۳۰ سال اول بین ۱۳ تا ۱٦ ایستگاه همدیدی در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹٦۸ و ۱۹٦۹ تحت تأثیر دوره سرد قرار گرفتند (شکل ۱۰).



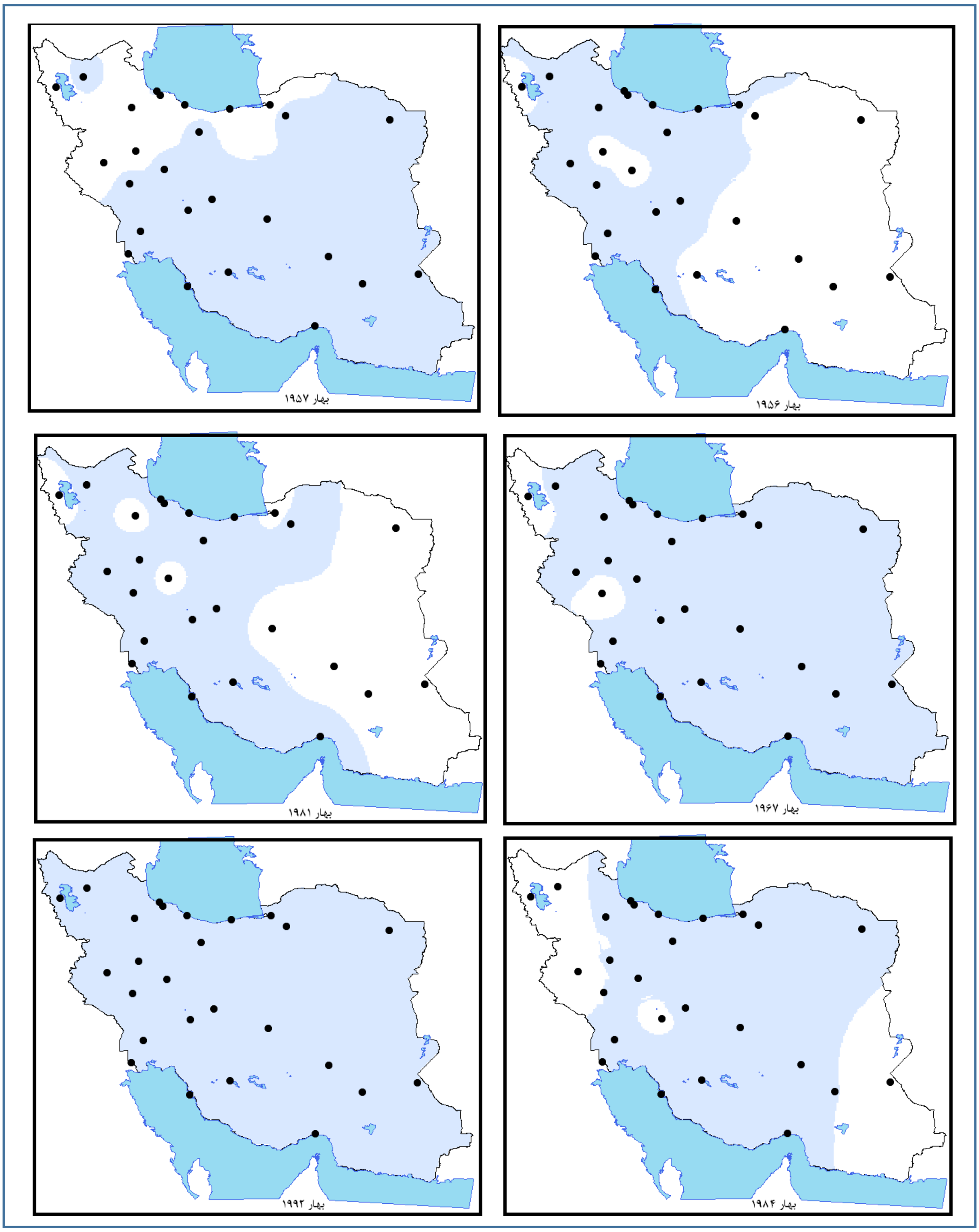
شکل ٦- الگوی ۲۰ درصد حد بالا و پایین دمای کمینه و بیشینه بهار و تابستان طی دوره آماری ٦۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۵۱)



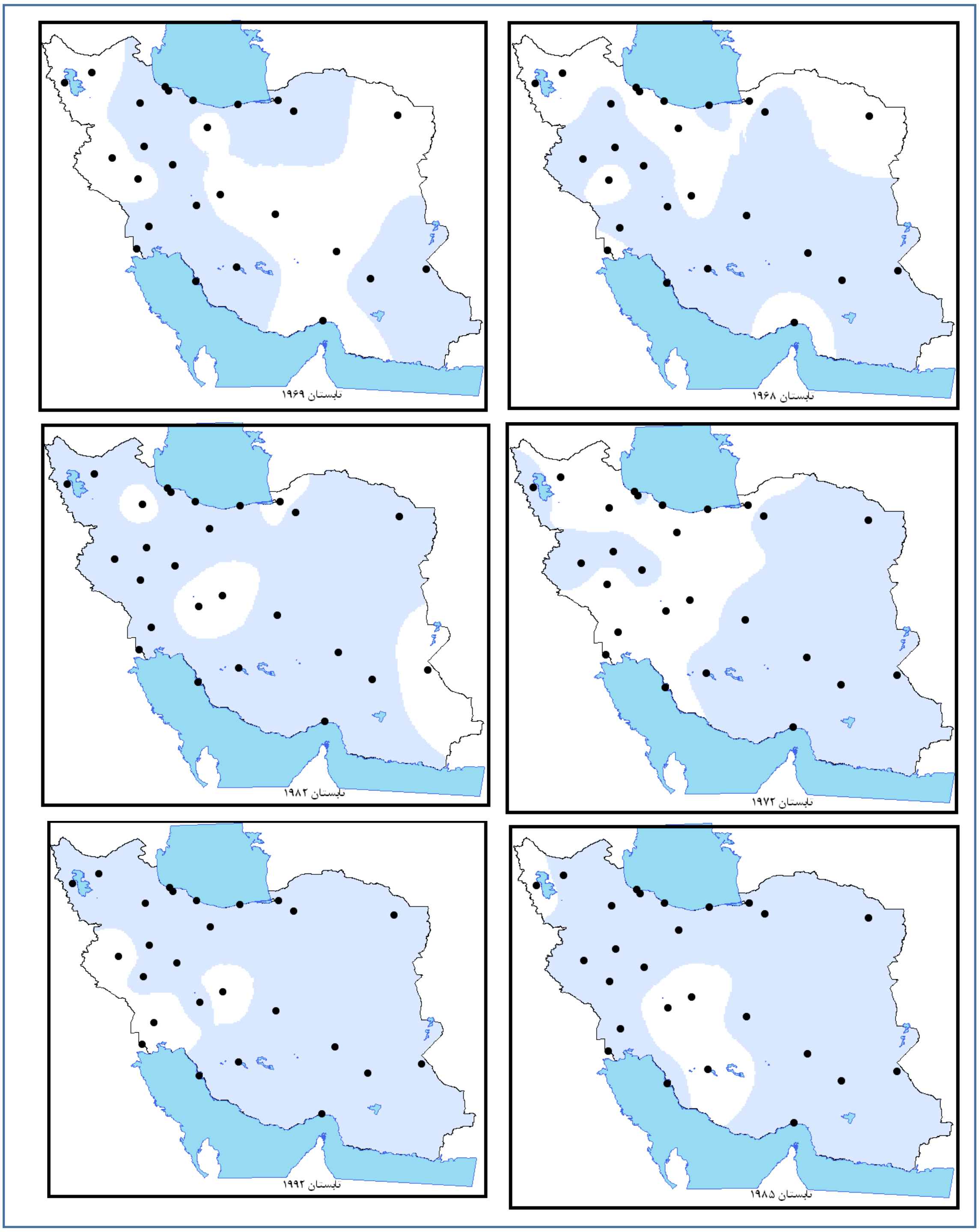
شکل ۷- ۲۰ درصد حد بالای میانگین دمای بیشینه طی فصل بهار



شکل ۸- ۲۰ درصد حد بالای میانگین دمای بیشینه طی فصل تابستان



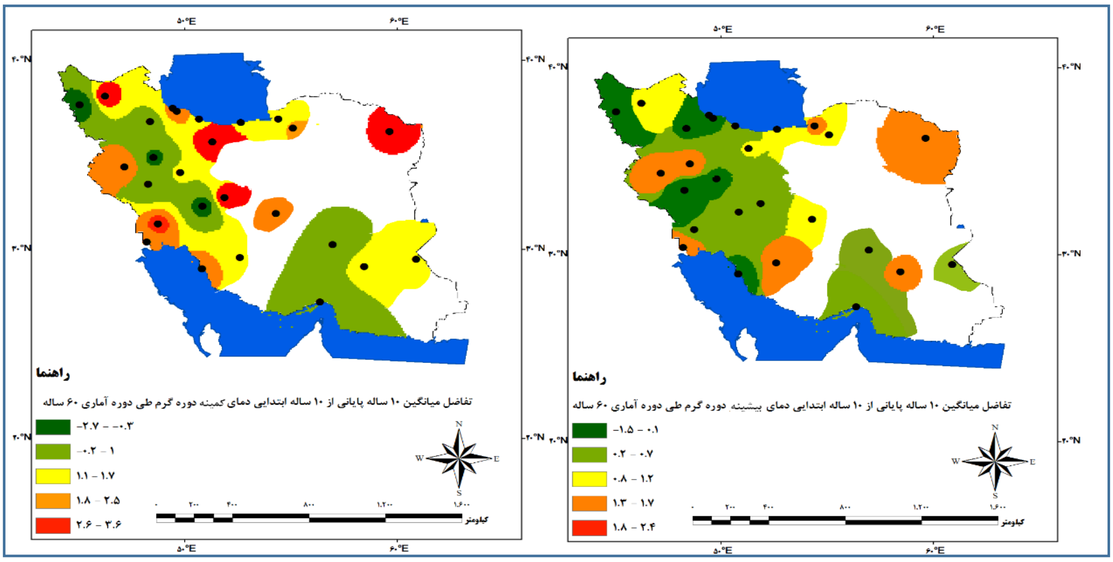
شکل ۹- ۲۰ درصد حد پایین میانگین دمای کمینه طی فصل بهار



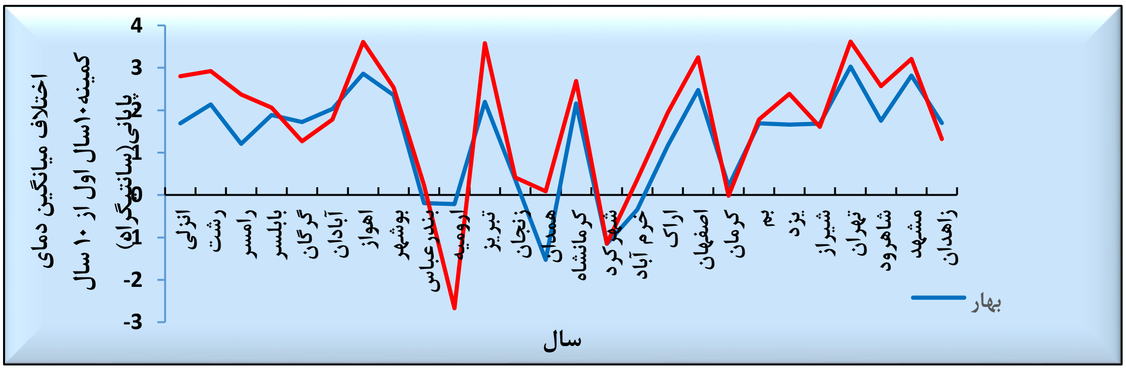
شکل ۱۰- ۲۰ درصد حد پایین میانگین دمای کمینه طی فصل تابستان

۳-۳- بررسی نقشه‌های تفاضل میانگین دمای کمینه و بیشینه ۱۰ ساله اول از ۱۰ ساله آخر در فصول بهار و تابستان

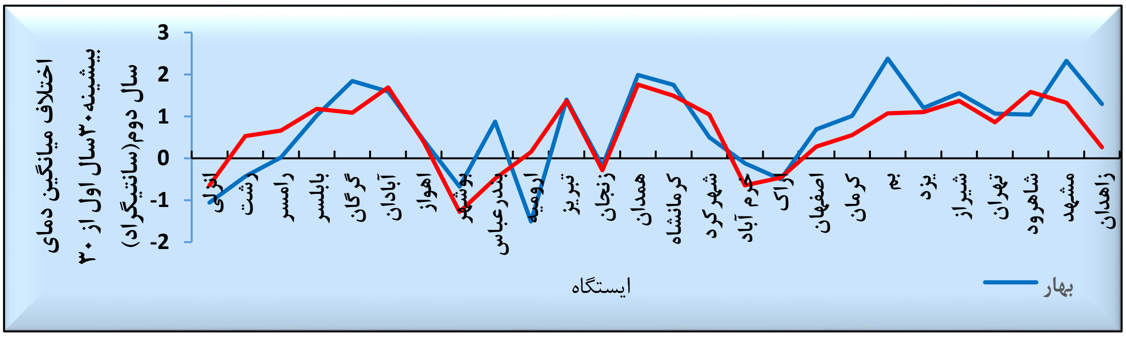
بررسی الگوها (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که در فصل بهار به‌غیر از بندرعباس در نیمه جنوبی و ٤ ایستگاه از حوزه شمال‌غرب و غرب، که بین ۰,۲ تا ۱,٥ درجه با کاهش در میانگین دمای کمینه مواجه بوده‌اند، بقیه ایستگاه‌ها ۰,۲۱ – ۳,۰۳ درجه، افزایش میانگین این فراسنج تجربه کرده‌اند. از طرف دیگر بیشترین مقدار افزایش مربوط به ایستگاه‌های تهران، مشهد، اهواز، اصفهان، بوشهر، کرمانشاه، تبریز و آبادان بوده که بین ۲,۰۳ در آبادان تا ۳,۰۳ در تهران تغییر داشته است. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که به‌غیراز ایستگاه زنجان و کرمان که به ترتیب با ۰,۳ و ۰,۲ افزایش در میانگین دمای کمینه مواجه بوده‌اند، بقیه ایستگاه‌ها مقدار افزایشی بین ۱,۲ تا ۳,۰۳ را تجربه کرده‌اند. شایان گفتن است گرچه طی فصل بهار، نیمه شمالی کشور هنوز تحت سلطه پرارتفاع جنب حاره قرار نگرفته است، ولی مقدار افزایش میانگین دمای کمینه ایستگاه‌هایی مانند تهران، رشت، مشهد و تبریز بالاتر از ۲ است. چنین افزایشی می‌تواند با توجه به تغییر کاربری اراضی، گسترش شهرها، افزایش جمعیت و درنتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش سامانه‌های گرمازا و جابجایی ایستگاه توجیه شود که می‌توانند تغییراتی در اقلیم منطقه ایجاد کنند. همچنین در مورد بندرعباس که کاهش میانگین دمای کمینه را در دوره ۱۰ ساله دوم تجربه کرده است، چنان‌که قبلاً گفته شد به نظر می‌رسد که تقویت بیشتر پدیده نسیم دریا و خشکی و نیز تأثیرگذاری بیشتر مونسون در این دوره، چنین کاهشی را موجب شده باشد. همچنین با توجه به فراگیر بودن افزایش دما در بازه زمانی ۱۰ ساله آخر در کشور، به نظر می‌رسد که کاهش میانگین دمای کمینه ایستگاه‌هایی مانند ارومیه و خرم‌آباد که حداکثر ۰,۳ هست، ناشی از خطای انسانی در محاسبات و برآورد داده‌ها باشد. ولی در مورد همدان و شهرکرد باید به‌دقت بررسی شود. گرچه این تغییرات می‌تواند ناشی از ارتفاع و موقعیت جغرافیایی و تأثیرگذاری متفاوت سامانه‌های عبوری در آن‌ها باشد. به همین ترتیب مشاهده و بررسی نقشه‌ها و داده‌های مربوط به میانگین دمای کمینه فصل تابستان (شکل ۱۲) ایستگاه‌های موردمطالعه در بازه ۱۰ ساله آخر نشان می‌دهد که به‌غیراز ایستگاه‌های ارومیه، شهرکرد و کرمان که بین ۰,۰۲ تا ۲,٦٦ کاهش داشته‌اند، مابقی ایستگاه‌ها در ۱۰ ساله پایانی بین ۰,۰۸ در همدان تا ۳,۱٦ در تهران افزایش داشته‌اند. ایستگاه‌های تهران، اهواز، تبریز، اصفهان و مشهد بیشترین افزایش در میانگین بیشینه دما را در دهه دوم تجربه کرده‌اند که دلایل آن مشابه مواردی است که در فصل بهار بیان گردید. مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد که مقدار افزایش دمای بیشینه فصل تابستان نسبت به فراسنج متناظر آن در فصل بهار در اغلب ایستگاه‌ها جهش کمتری داشته است. به نظر می‌رسد دلیل آن کاهش فراوانی تهاجم هوای سرد نسبی و همچنین سامانه‌های همرفتی در فصل بهار نسبت به فصل تابستان و همگونی بیشتر کشور ازنظر دمایی در فصل تابستان باشد. گرچه طی تابستان در نیمه شمالی کشور، زاویه تابش کم است ولی طول روز افزایش می‌یابد و اختلاف نسبی موجود، ناشی از ارتفاع و جهت ناهمواری‌ها است.



شکل ۱۱- تفاضل میانگین دمای کمینه و بیشینه ۱۰ ساله اول (۱۹۶۰-۱۹۵۱) از ۱۰ ساله آخر (۲۰۱۰-۲۰۰۱) در فصول بهار و تابستان



شکل ۱۲- اختلاف میانگین دمای کمینه دهه ۱۹۶۱-۱۹۵۰ از فراسنج متناظر آن در دهه ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در فصل بهار و تابستان



شکل ۱۳- اختلاف میانگین دمای بیشینه دهه ۱۹۶۱-۱۹۵۰ از فراسنج متناظر آن در دهه ۲۰۱۰-۲۰۰۱ در فصل بهار و تابستان

۳-٤- روند یابی تغییرات میانگین دمای کمینه و بیشینه در فصل بهار و تابستان طی دوره آماری ٦٠ ساله

پردازش دادەها و بکارگیری آزمون آماری من‌کندال در مورد داده‌های میانگین دمای کمینه و بیشینه به‌منظور آشکارسازی روند تغییرات و نوع آن‌ها برای بازه‌ی زمانی ٦٠ ساله، در فصل بهار و تابستان نشان می‌دهد که میانگین دمای کمینه ۲۱ ایستگاه از ۲٦ ایستگاه مورد مطالعه در فصل بهار و همچنین ۲۲ ایستگاه در فصل تابستان، دارای روند معنادار بوده‌اند (جدول ۱ و ۲). در مورد میانگین دمای کمینه فصل بهار فقط ایستگاه شهرکرد و برای فصل تابستان ایستگاه‌های ارومیه، شهرکرد، رشت و رامسر دارای روند کاهشی بوده‌اند و مابقی ایستگاه‌ها در هر دو فصل، افزایش دمای کمینه را تجربه کرده‌اند که همسوئی با گرمایش جهانی و رخداد تغییر اقلیم در ایران را به نمایش می‌گذارند. بررسی داده‌های میانگین بیشینه دمای ماهانه فصل‌های بهار و تابستان (جدول ۳ و ٤) با توجه به نتایج آزمون خطی من‌کندال نشان می‌دهد که در فصل بهار و تابستان به ترتیب به‌جز ٦ و ۱۰ ایستگاه، بقیه ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار بوده‌اند که همه آن‌ها روند افزایشی داشته‌اند. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد، از بین ایستگاه‌های مشترکی که طبق آزمون من‌کندال در آماره‌های دمای میانگین کمینه و بیشینه فصل‌های بهار و تابستان روند معنی‌دار داشته‌اند، فقط شش ایستگاه در فصل تابستان به‌طور نسبی دامنه تغییرات دمای شبانه‌روزی آن‌ها، تغییر کمی داشته‌اند. آهنگ تغییرات افزایش میانگین دمای کمینه ایستگاه‌ها شدیدتر از آهنگ افزایش میانگین دمای بیشینه بوده است؛ بنابراین لزوم توجه و تأکید بر پیامدهای تغییر الگوهای دمایی کشور از سوی مدیران بیش از پیش احساس می‌شود. آنچه چنین الزامی را سبب می‌شود، آهنگ افزایش میانگین دمای کمینه و انحراف از میانگین بلندمدت ٦٠ ساله آن در مناطق مختلف کشور است که به شدت دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما را در پهنه کشور کاهش می‌دهد. نتیجه این‌که افزایش تعداد شب‌های گرم به دنبال افزایش دمای کمینه و کاهش دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما، می‌تواند خطر رخدادهای فرین اقلیمی در کشور را افزایش دهد و در نتیجه، ضمن افزایش آسیب‌پذیری مردم؛ پیامدهای اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی شدیدی را موجب گردد.

جدول ۱- روند یابی تغییرات دمای کمینه فصل بهار طی دوره آماری ٦٠ ساله

بهار									
ایستگاه	P-value	نوع روند	مقدار هر ۱۰ سال	معادله خط	ایستگاه	P-value	نوع روند	مقدار هر ۱۰ سال	معادله خط
آبادان	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 21.3 + 0.04 * t$	رامسر	۰,۰۰	افزایش	۰,٤۸	$Yt = 12.4 + 0.05 * t$
اهواز	۰,۰۰	افزایش	۰,٦٦	$Yt = 20 + 0.066 * t$	رشت	۰,۰۰	افزایش	۰,۳۲	$Yt = 12. +0.032 * t$
انزلی	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 14.4 + 0.04 * t$	شهرکرد	۰,۰۰	کاهش	۰,۲٦	$Yt = 7.7 - 0.026 * t$

ادامه جدول ۱

بهار									
ایستگاه	P-value	نوع روند	مقدار هر ۱۰ سال	معادله خط	ایستگاه	P-value	نوع روند	مقدار هر ۱۰ سال	معادله خط
اراک	۰,۰۰	افزایش	۰,۱	$Yt = 10.6 + 0.01 * t$	شاهرود	۰,۰۰	افزایش	۰,۵	$Yt = 11.7 + 0.05 * t$
بابلسر	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 14.7 + 0.04 * t$	شیراز	۰,۰۰	افزایش	۰,۵	$Yt = 11.5 + 0.05 * t$
بم	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 20.5 + 0.04 * t$	تبریز	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 9.3 + 0.04 * t$
بوشهر	۰,۰۰	افزایش	۰,۵	$Yt = 21.4 + 0.05 * t$	تهران	۰,۰۰	افزایش	۰,۷	$Yt = 14.2 + 0.07 * t$
اصفهان	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 12.5 + 0.04 * t$	یزد	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 16.4 + 0.04 * t$
کرمان	۰,۰٤	افزایش	۰,۱	$Yt = 12 + 0.01 * t$	زاهدان	۰,۰۰	افزایش	۰,۳٤	$Yt = 14.8 + 0.03 * t$
کرمانشاه	۰,۰۰	افزایش	۰,۵	$Yt = 7.2 + 0.05 * t$	مشهد	۰,۰۰	افزایش	۰,٦	$Yt = 13.8 + 0.06 * t$
خرم‌آباد	۰,۰۱	افزایش	۰,۳	$Yt = 12.6 + 0.03 * t$					

جدول ۲- روند یابی تغییرات دمای کمینه فصل تابستان طی دوره آماری ۶۰ ساله

تابستان									
ایستگاه	P-value	نوع روند	در هر ۱۰ سال	معادله خط	ایستگاه	P-value	نوع روند	در هر ۱۰ سال	معادله خط
آبادان	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 25.3 + 0.02 * t$	مشهد	۰,۰۰	افزایش	۰,٦	$Yt = 13.87 + 0.06 * t$
اهواز	۰,۰۰	افزایش	۰,۷۳	$Yt = 23.9 + 0.07 * t$	ارومیه	0۰,۰	کاهش	۰,۵۵	$Yt = 16.1 - 0.055 * t$
انزلی	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 19.9 + 0.04 * t$	رامسر	۰,۰۰	کاهش	۰,۳٦	$Yt = 19.9 - 0.036 * t$
اراک	۰,۰۰	افزایش	۰,۱	$Yt = 15.8 + 0.02 * t$	رشت	۰,۰۰	کاهش	۰,۵۳	$Yt = 17.7 - 0.052 * t$
بابلسر	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 20.6 + 0.03 * t$	شهرکرد	۰,۰۰	کاهش	۰,۳۲	$Yt = 12.3 - 0.032 * t$
بم	۰,۰۰	افزایش	۰,٤۲	$Yt = 23.8 + 0.039 * t$	شاهرود	۰,۰۰	افزایش	۰,۵۵	$Yt = 16.5 + 0.055 * t$
بوشهر	۰,۰۰	افزایش	۰,۵	$Yt = 25.8 + 0.048 * t$	شیراز	0.00	افزایش	۰,٤۸	$Yt = 16.9 + 0.048 * t$
اصفهان	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 16.9 + 0.045 * t$	تبریز	0.00	افزایش	۰,۵۲	$Yt = 16 + 0.052 * t$

ادامه جدول ۲

تابستان									
ایستگاه	P-value	نوع روند	در هر ۱۰ سال	معادله خط	ایستگاه	P-value	نوع روند	در هر ۱۰ سال	معادله خط
گرگان	۰،۰۹	افزایش	۰،۱۳	$Yt = 21.3 + 0.013 * t$	تهران	۰،۰۰	افزایش	۰،۷	$Yt = 20.3 + 0.063 * t$
کرمانشاه	۰،۰۰	افزایش	۰،٤۸	$Yt = 13 + 0.048 * t$	یزد	۰،۰۰	افزایش	۰،٤	$Yt = 20 + 0.044 * t$
خرم‌آباد	۰،۰۵	افزایش	۰،۳	$Yt = 18.2 + 0.03 * t$	زاهدان	۰،۰۰	افزایش	۰،۳٤	$Yt = 14.8 + 0.034 * t$

جدول ۳- روند یابی تغییرات دمای بیشینه فصل بهار طی دوره آماری ۶۰ ساله

بهار									
ایستگاه	P-value	نوع روند	مقدار هر ۱۰ سال	معادله خط	ایستگاه	P-value	نوع روند	مقدار هر ۱۰ سال	معادله خط
آبادان	۰،۰۰	افزایش	۰،٤	$Yt = 37.2 + 0.04 * t$	بندرعباس	۰،۰۰	افزایش	۰،۲	$Yt = 35.1 + 0.01 * t$
اهواز	۰،۰۲	افزایش	۰،۲	$Yt = 38.1 + 0.02 * t$	مشهد	۰،۰۰	افزایش	۰،٦	$Yt = 25.4 + 0.04 * t$
انزلی	۰،۰۰	افزایش	۰،۳	$Yt = 22.3 + 0.03 * t$	ارومیه	۰،۰۰	افزایش	۰،۳	$Yt = 25.7 + 0.02 * t$
بابلسر	۰،۰۰	افزایش	۰،۲	$Yt = 22.3 + 0.02 * t$	شاهرود	۰،۰۰	افزایش	۰،۲	$Yt = 25.6 + 0.01 * t$
بم	۰،۰۰	افزایش	۰،٤	$Yt = 33.3 + 0.04 * t$	شیراز	۰،۰۰	افزایش	۰،۳	$Yt = 29.3 + 0.03 * t$
بوشهر	۰،۰۰	افزایش	۰،۱	$Yt = 33.1 + 0.01 * t$	تبریز	۰،۰۰	افزایش	۰،۳	$Yt = 21.8 + 0.03 * t$
کرمانشاه	۰،۰۰	افزایش	۰،٤	$Yt = 25.4 + 0.04 * t$	تهران	۰،۰۰	افزایش	۰،۲	$Yt = 27.4 + 0.02 * t$
اصفهان	۰،۰۱	افزایش	۰،۲	$Yt = 27.8 + 0.02 * t$	یزد	۰،۰۰	افزایش	۰،۳	$Yt = 31.3 + 0.03 * t$
گرگان	۰،۰۱	افزایش	۰،۳	$Yt = 25.3 + 0.03 * t$	زاهدان	۰،۰۲	افزایش	۰،۳	$Yt = 31.5 + 0.02 * t$
همدان	۰،۰۰	افزایش	۰،٤	$Yt = 22.8 + 0.04 * t$	کرمان	۰،۰۱	افزایش	۰،۲	$Yt = 29.1 + 0.02 * t$

جدول ٤- روند یابی تغییرات دمای بیشینه فصل تابستان طی دوره آماری ۶۰ ساله

تابستان									
ایستگاه	P-value	نوع روند	در هر ۱۰ سال	معادله خط	ایستگاه	P-value	نوع روند	در هر ۱۰ سال	معادله خط
آبادان	۰,۰۰	افزایش	۰,٤	$Yt = 43.3 + 0.04 * t$	رامسر	۰,۰٤	افزایش	۰,۱	$Yt = 27.4 + 0.01 * t$
اهواز	**۰,۰۰**	**افزایش**	**۰,۱**	$\boldsymbol{Yt = 44.5 + 0.01 * t}$	**شاهرود**	**۰,۰۰**	**افزایش**	**۰,۳**	$\boldsymbol{Yt = 30.7 + 0.03 * t}$
انزلی	۰,۰۰	کاهش	۰,۲	$Yt = 28.7 - 0.02 * t$	شیراز	۰,۰۰	افزایش	۰,۳	$Yt = 35.4 + 0.03 * t$
بابلسر	**۰,۰۰**	**افزایش**	**۰,۲**	$\boldsymbol{Yt = 28.8 + 0.02 * t}$	**تبریز**	**۰,۰۰**	**افزایش**	**۰,۲**	$\boldsymbol{Yt = 30.5 + 0.02 * t}$
بم	۰,۰۰	افزایش	۰,۲	$Yt = 36.9 + 0.02 * t$	تهران	۰,۰۰	افزایش	۰,۲	$Yt = 34.1 + 0.02 * t$
مشهد	**۰,۰۰**	**افزایش**	**۰,۳**	$\boldsymbol{Yt = 31.3 + 0.03 * t}$	**خرم‌آباد**	**۰,۰۲**	**افزایشی**	**۰,۲**	$\boldsymbol{Yt = 39.5 + 0.02 * t}$
همدان	۰,۰۰	افزایش	۰,۳.	$Yt = 31.8 + 0.03 * t$	کرمانشاه	۰,۰۰	افزایش	۰,۳	$Yt = 35.2 + 0.03 * t$
کرمان	**۰,۰٤**	**افزایش**	**۰,۱**	$\boldsymbol{Yt = 33.4 + 0.01 * t}$	**بندرعباس**	**۰,۰۰**	**افزایش**	**۰,۱**	$\boldsymbol{Yt = 37.9 + 0.01 * t}$
یزد	۰,۰۰	افزایش	۰,۲	$Yt = 35.8 + 0.02 * t$					

٤- جمع‌بندی

الگوی میانگین دمای بیشینه و ضریب تغییرات مربوط به آن در بهار، تابستان و دوره گرم نشان می‌دهد که در نیمه غربی و شمالی کشور، نسبت به بقیه مناطق با تغییرپذیری بیشتری همراه است. بالاترین ضریب تغییرات در حوزه شمال‌غرب، غرب و حوزه کاسپین، مربوط به ایستگاه‌های انزلی، ارومیه و زنجان است که به نظر می‌رسد تحت تأثیر بیشتر فعالیت سامانه‌های شمالی با هوای سرد و وضع ناهمواری‌ها قرار گرفته‌اند. نیمه جنوبی کشور در هر سه بازه زمانی، از تغییرات ناچیزی برخوردارند که با نتایج کار رحیم زاده و عسگری (۱۳۸۳) همخوانی دارد. این نشان می‌دهد که تغییرات سالانه دمای بهار و تابستان در نیمه جنوبی و مرکزی ایران از یک رژیم ثابتی برخوردار بوده و در یک دامنه معینی تغییر می‌کند. چنین استنباط می‌شود که در این‌فصل‌ها بیشتر این مناطق تحت رژیم دمایی حاره‌ای واقع می‌شوند و این زمانی است که پرارتفاع جنب حاره با انتقال شمال سوی خود به نواحی مرکزی و شمالی ایران، مناطق جنوبی این پرفشار تحت تأثیر جریانات مناطق حاره‌ای قرار می‌گیرند. با توجه به این‌که میانگین دمای بیشینه

اغلب ایستگاه‌های حوزه شمال غرب و غرب در دوره ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم در بهار، تابستان و دوره گرم، بین ۰,۳ تا ۰,۸ کاهش داشته است، ولی ایستگاه‌های کرمانشاه، تبریز و همدان، افزایشی بین ۰,۷ تا ۱,۲ را تجربه کرده‌اند. چنین افزایشی می‌تواند با توجه به تغییر کاربری اراضی، گسترش شهرها، افزایش جمعیت و درنتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش سامانه‌های گرمازا و جابجایی ایستگاه توجیه شود که می‌توانند تغییراتی در اقلیم منطقه ایجاد کنند. در دوره ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم نسبت به دوره ۳۰ ساله و ۱۰ ساله اول و نیز نسبت به دوره ٦۰ ساله، میانگین دمای بیشینه اغلب ایستگاه‌های همدیدی (۷٦,۹٪) در فصول بهار، تابستان و دوره گرم در بازه‌های زمانی موردنظر افزایش داشته‌اند. با این تفاوت که افزایش دمای بیشینه فصل تابستان نسبت به پارامتر متناظر آن در فصل بهار در اغلب ایستگاه‌ها کمتر بوده است که با نتایج کار ماگوم و همکاران (۲۰۱٦) در چین هماهنگ است. به نظر می‌رسد که از تأثیرگذاری جریانات شمالی نسبت به دوره‌های متناظر ۳۰ ساله و ۱۰ ساله اول کاسته شده و به همان نسبت براثر گذاری سامانه‌های با منشأ جنوبی و حاکمیت پر ارتفاع جنب حاره افزوده‌شده باشد.

مقدار افزایش میانگین دمای بیشینه در بازه زمانی ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم، نسبت به افزایش آن در دوره‌های ۳۰ ساله و ۱۰ ساله اول طی تابستان، نسبت به فرا سنج متناظر آن در بهار در اغلب ایستگاه‌ها جهش کمتری داشته است. به نظر می‌رسد دلیل آن کاهش فراوانی تهاجم هوای نسبتاً سرد و همچنین سامانه‌های همرفتی، در فصل بهار نسبت به فصل تابستان و همگونی بیشتر کشور از نظر دمایی در فصل تابستان باشد. اختلاف نسبی موجود در نیمه شمالی و غربی کشور ناشی از ارتفاع و جهت ناهمواری‌ها است. نتایج بررسی میانگین دمای کمینه نشان می‌دهد که تغییراتی جزئی در این فراسنج، طی بازه زمانی ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم نسبت به بازه زمانی ۳۰ ساله و ۱۰ ساله اول و دوره ٦۰ ساله به وجود آمده است. تقریباً ۷۳٪ ایستگاه‌ها طی بهار، تابستان و دوره گرم، افزایش میانگین دمای کمینه را تجربه کرده‌اند که از این نظر با نتایج کار لین و همکاران (۲۰۱۷) در چین همسو است. مقدار افزایش فراسنج مزبور در ایستگاه‌هایی مانند تهران، رشت، مشهد و تبریز در نیمه شمالی کشور در فصل بهار بیشتر از ۲ درجه است. گرچه در فصل بهار، نیمه شمالی کشور هنوز تحت تأثیر تسلط پرارتفاع جنب حاره قرار نگرفته است؛ بنابراین چنین افزایشی در میانگین دمای کمینه ایستگاه‌های نام‌برده شده، می‌تواند با توجه به موارد مطروحه در افزایش میانگین دمای بیشینه توجیه شود.

میزان افزایش در میانگین حداکثر دما در تابستان کندتر ولی در میانگین حداقل دما سریع‌تر است؛ بنابراین دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما کاهش‌یافته است که با نتایج تحقیقات حلبیان و همکاران تطابق دارد. بیشترین افزایش در فراسنج میانگین حداقل دما مربوط به شهرهای اهواز، تهران، مشهد، شیراز و شاهرود بوده است که با نتایج مطالعات علیزاده و نجفی (۱۳۹٦) منطبق است. به نظر می‌رسد که کاهش میانگین دمای کمینه ایستگاه بندرعباس در تابستان، در بازه ۳۰ ساله و ۱۰ ساله دوم نسبت به بازه زمانی متناظر آن در دوره اول، ناشی از تقویت بیشتر پدیده نسیم دریا و

خشـکی و نیز تأثیرگذاری بیشـتر مونسون در این دوره باشد. نتایج بررسی ۲۰ درصد حد بالای میانگین دمای بیشینه و ۲۰ درصـد پایین میانگین دمای کمینه فصـل بهار و تابستان در دو دوره ۳۰ ساله نشان می‌دهد که تواتر و گسترش دوره گرم و سـرد در بازه زمانی ۳۰ سـاله دوم نسـبت به بازه زمانی ۳۰ ساله اول در هر دو فصل افزایش‌یافته است و رخداد میانگین دمای بیشـینه فراگیر در فصل بهار، تأثیر مستقیمی بر میانگین دمای فصل تابستان و به‌تبع آن تجربه دمای بیشینه منطبق با فصـل بهار دارد. نتایج روند یابی داده‌ها بر اسـاس آزمون من کندال برای بازه زمانی ٦۰ سـاله در فصـل بهار و تابسـتان نشـان می‌دهد که میانگین دمای کمینه ۲۱ ایسـتگاه از ۲٦ ایسـتگاه موردمطالعه در فصـل بهار و همچنین ۲۲ ایسـتگاه در تابسـتان، دارای روند معنی‌دار بوده‌اند؛ که با نتایج کار حلبیان و همکاران (۱۳۹٦) و عسـگری و رحیم زاده (۱۳۸۳) مطابقت دارد. در مورد میانگین دمای کمینه فصـل بهار فقط ایسـتگاه شـهرکرد و برای فصـل تابسـتان نیز ایسـتگاه‌های ارومیه و شـهرکرد، رامسـر و رشـت روند کاهشی معنی‌دار داشته‌اند، بقیه ایستگاه‌ها در هر دو فصل روند افزایشـی در دمای کمینه را تجربه کردند که از این نظر با گرمایش جهانی مطابقت دارد و رخداد تغییر اقلیم در ایران را تائید می‌کند. نتایج بررسـی روند میانگین دمای بیشـینه فصل بهار و تابستان، نشان می‌دهد که در فصل بهار و تابستان به ترتیب به‌غیر از ٦ و ۱۰ ایسـتگاه، بقیه ایسـتگاه‌ها دارای روند معنی‌دار بوده‌اند. از این تعداد فقط ایسـتگاه ارومیه در بهار و انزلی در تابسـتان روند کاهشـی داشتند. آهنگ تغییرات افزایشی در روند میانگین دمای کمینه ایستگاه‌ها در فصل بهار و تابسـتان، شـدیدتر از آهنگ افزایش، درروند میانگین دمای بیشـینه همین فصـول است که با نتایج مطالعات علیزاده و نجفی (۱۳۹٦)، لوئیس و کینـگ (۲۰۱۷)، تطـابق دارد؛ بنـابراین لزوم توجه و تأکید بر پیامدهای تغییر الگوهای دمایی کشـور از سـوی مدیران بیش‌ازپیش احساس می‌شود، زیرا به‌صورت شتاب‌زده دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما را در پهنه کشـور کاهش می‌دهد. نتیجه این‌که افزایش تعداد شـب‌های گرم به‌عنوان پیامد کاهش دامنه تغییرات شـبانه‌روزی دما، می‌توانـد خطر رخـدادهـای فرین اقلیمی را در کشـور افزایش دهد و درنتیجه ضـمن افزایش آسـیب‌پذیری مردم، پیامدهای اقتصادی–اجتماعی و زیست‌محیطی را به دنبال داشته باشد.

تقدیر و تشکر

از پژوهشـکده هواشـناسـی و علوم جو به سـبب در اختیار گذاشـتن فرصـت مطالعاتی و همچنین همکاری بسیار نزدیک در مورد دریافت داده‌ها و اسـتفاده از منابع مورد نیاز این موسـسـه و نیز جناب آقای دکتر محمد پور، جناب آقای دکتر رهنما و خانم دکتر یاراحمدی به سبب کمک‌های علمی ایشان قدردانی می‌شود.

منابع

احمدی، فرشـاد؛ رادمنش، فریدون؛ ۱۳۹۳. بررسـی روند تغییرات متوسـط دمای ماهانه و سـالانه نیمه شمالی کشور در نیم‌قرن اخیر، *نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. شماره ٤(۲۸). ۸۵۵–۸٦۵.

حلبیان، امیرحسین؛ پورشهبازی، جواد؛ سلطانیان، محمود؛ ۱۳۹٦. ارزیابی تغییر دمای بیشینه و کمینه فصلی ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. شماره ۲۳. ۱–۱۰.

دارند محمد، ۱۳۹٤، ارزیابی و شناخت تغییر اقلیم در ایران‌زمین طی دهه‌های اخیر، *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ش ۳۰. ۱–۱٤.

رحیم زاده، فاطمه؛ عسکری، احمد؛ ۱۳۸۳. نگرشی بر تفاوت نرخ افزایشی دمای کمینه و بیشینه و کاهش دامنه شبانه‌روزی دما در ایران. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۷۳. ۱۵۳–۱۷۱.

صادقی، سلیمان؛ حسین زاده، سید رضا؛ دوستان، رضا؛ آهنگر زاده، زهرا؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدیدی امواج سرمایی در شمال شرق ایران. *جغرافیا و مخاطرات طبیعی*. شماره ۳. صص ۱۰۷–۱۲۳

علیزاده چوبری، امید؛ نجفی، محمد سعید؛ ۱۳۹٦. روند تغییرات دمای هوا و بارش در مناطق مختلف ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. ٤۳(۳). ۵٦۹–۵۸٤.

قاسمی‌فر، الهام؛ ناصرپور، سمیه؛ ۱۳۹۵. تحلیل سینوپتیکی امواج گرما و سرما در سواحل جنوبی دریای خزر. *فصلنامه علمی – پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. شماره ۱۰۳. ۱۳۷–۱٤٦

لطفی، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ ضیاییان فیروزآبادی، پرویز؛ ۱۳۹۳. واکاوی تأثیر شهر بر تغییرات سالانه دما در شمال شرق ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۳۵(۱٤)، ۱۹٦–۱۷۵.

ورشاویان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نوذر؛ سهراب، حجام؛۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات مقادیر فرین دمای کمینه، حداکثر و میانگین روزانه چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*. شماره ۱(۳۷)، ۱۷۹–۱٦۹

Altın, T.B., Barak, B., Altın. B.N., 2012. Change in Precipitation and Temperature Amounts over Three Decades in Central Anat. Earth & Environmental Sciences, vol2, 107-125.

Bsara, J.B., Basara, H.G., Illoston, B.G., Crawford, K.C.,2010.The Impact Of The Urban Heat Island during an intense Heat Wave in Oklahoma City.Advances in Meteorology, Volume 2010., 1-10.

Gurevich, G., Hadad, Y., Ofir. A., Ohayon, B., 2011. Statistical analysis of temperature changes in Israel: an application of change point detection and estimation techniques. Global nest journal, vol 13, 215-228.

Lewis, S.C., King, A.D., 2017. Evolution of mean variance and extremes in 21st century temperatures, VOL15, 1-10.

Lin, P., He, Z., Du, J., Chen, L., Zhu, X., Li, J., 2017. Recent changes in daily climate extremes in an arid mountain region, a case study in northwestern China’s Qilian Mountains. Scientific Reportsvolume vol 7, 1-15.

Makokha, G.L., Shisanya, C.A., 2010. Trends in Mean Annual Minimum and Maximum near Surface Temperature in Nairobi City, Kenya. Advances in Meteorology, vol 2010,1-6.

Mugume, I, Shuanghe, SH., Tao Sulin, T., Mujuni, G., 2016. Analysis of Temperature Variability over Desert and Urban Areas of Northern China. Journal of Climatology & Weather Forecasting 2-9.

Peng, D., Wang, X., Zhao, C., Wu, C., Jiang, F., Chen. P, 2014, Characterizing Air Temperature Changes in the Tarim Basin over 1960–2012.Plose one, vol 9(11), 1-11.

Peterson. TC., Heim, Jr.R.,2013. Monitoring and understanding changes in heat waves, cold waves, floods and droughts in the United States. American Meteorological Society, 821-834.
Qu, M., Wan, M., Hao, X., 2014. Analysis of diurnal air temperature range change in the continental United States. Weather and Climate Extremes, vol 4, 86-95.
Stock, J.M., Taylor, N.A.S., Tipton, M.J., Greenleaf, J.E., 2004. Human Physiological Responses to Cold Exposure Aviat Space Environ Med. vol 75,444.457
WMO, No. 111.NCP8.